



Investigation the effect of different number of presence points, raster resolution and sample size scenarios on the groundwater potential map prediction using data mining model in Namroud catchment, Tehran

Ali Kahrizi¹ , Mohammad Ali Izadbakhsh² , Saeid Shabanlou³ , Fariborz Yosefvand⁴ 

1. Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran, Email:

ali.kahrizi@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran, Email: izadbakhsh.mohammad.ali@gmail.com

3. Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran, Email:

saeid.shabanlou@gmail.com

4. Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran, Email:

fariborzosefvand@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Research Article</p> <p>Article history:</p> <p>Received: June. 3, 2021</p> <p>Revised: Aug. 17, 2021</p> <p>Accepted: May. 9, 2023</p> <p>Published online: June. 22, 2023</p> <p>Keywords: Groundwater Potential, Spring, Frequency Ratio, Maxent Model, Relative Operating Characteristic Curve.</p>	<p>In the present study, the potential map of groundwater springs was prepared using the famous and efficient Maxent model as a benchmark in Namroud catchment, Tehran province. In this study, the effect of three different scenarios on the number of presence points (100,500,800 springs), raster resolution (100,50,30) and sample size (10/90, 20/80, 30/70, 50/50) on the predicted map was evaluated. First, 18 factors affecting the emergence of springs including lithological formations, the distance from the fault, fault density, elevation classes, slope percentage, slope direction, slope length factor, curvature maps, the distance from the waterway, waterway density, the distance from the road, topographic moisture index, relative slope position, flow power index, soil texture, surface roughness index and land use cover were selected and their maps were prepared in the ArcGIS10.5 and SAGA systems. After the correlation test and classification of the effective layers, the percentage and frequency of groundwater potential in each class were obtained using the frequency ratio method, which calculates the exact weight of each class. The relative operating characteristic curve (ROC) was used to evaluate the performance of these models. The results showed that the combination of raster resolution scenarios: 30-number of points: 100-sample size: 90/20 with the highest AUC (0.953 in training phase and 0.927 in validation phase) has goodness-of-fit and prediction accuracy compared to the combinations of other scenarios. In addition, about 9.14% of the study area had high and very high potential for groundwater. Based on the combination of the best scenario, the factors of distance from the waterway, relative slope position, drainage density and topographic moisture index with values of 17.3, 14.2, 13.8 and 10.2%, respectively, are the main factors of spatial control in the study area influencing the spring occurrence.</p>

Cite this article: Kahrizi, A., Izadbakhsh, M. A., Shabanlou, S., & Yosefvand, F. (2023) Investigation the effect of different number of presence points, raster resolution and sample size scenarios on the groundwater potential map prediction using data mining model in Namroud catchment, Tehran, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (5), 713-736. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.325058.668989>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.325058.668989>

بررسی تأثیر سناریوهای عدم قطعیت در مدلسازی چشمه‌های آب زیرزمینی با استفاده از مدل مکسنت در حوزه‌ی آبخیز نمرو، تهران

علی کهریزی^۱، محمد علی ایزدبخش^۲✉، سعید شعبانلو^۳، فریبرز یوسفوند^۴

۱. گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران، رایانامه: ali.kahrizi@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران، رایانامه: izadbaksh.mohammad.ali@gmail.com

۳. گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران، رایانامه: saeid.shabanlou@gmail.com

۴. گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران، رایانامه: fariborzosefvand@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	در پژوهش حاضر نقشه پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی با استفاده از مدل پیشینه‌ی بی‌نظمی (مکسنت) به عنوان معیار در حوزه آبخیز نمرو، استان تهران تهیه شد. در این مطالعه تأثیر سه سناریوی مختلف عدم قطعیت از جمله تعداد نقاط حضور (۸۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰ چشمه)، وضوح رستری (۳۰، ۵۰، ۱۰۰) و اندازه نمونه (۱۰/۹۰، ۲۰/۸۰، ۳۰/۷۰، ۵۰/۵۰) روی نقشه‌ی پیش‌بینی شده بررسی شد. ابتدا ۱۸ عامل مؤثر در ظهور چشمه‌ها شامل: سازندهای سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، تراکم گسل، طبقات ارتفاعی، درصد شیب، جهت شیب، فاکتور طول شیب، نقشه‌های انحناء، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، فاصله از جاده، شاخص رطوبت توپوگرافی، موقعیت شیب نسبی، شاخص توان جریان، بافت خاک، شاخص زبری سطح و پوشش کاربری اراضی انتخاب شدند و نقشه آن‌ها در سامانه ArcGIS10.5 و SAGA تهیه گردید. پس از بررسی هم‌خطی و طبقه‌بندی لایه‌های مؤثر، سپس فراوانی وقوع چشمه در هر طبقه با استفاده از روش نسبت فراوانی به دست آمد، که این روش میزان دقیقی از وزن مربوط به هر طبقه را محاسبه می‌کند. برای ارزیابی عملکرد مدل‌های مذکور از منحنی مشخصه عملکرد نسبی (ROC) استفاده شد. نتایج نشان داد که ترکیب سناریوهای وضوح رستری: ۳۰-تعداد نقاط: ۱۰۰-اندازه نمونه: ۲۰/۹۰ با داشتن بالاترین مقدار AUC (۰/۹۵۳) در مرحله آموزش ۰/۹۲۷ در مرحله اعتبارسنجی) دارای عملکرد بهتر و توانایی پیش‌بینی بالاتری نسبت به ترکیب سناریوهای دیگر بودند. علاوه بر این، حدود ۹/۱۴ درصد از منطقه مورد مطالعه، پتانسیل بالا و خیلی بالایی به آب زیرزمینی داشته است. براساس ترکیب سناریوی برتر، عوامل فاصله از آبراهه، موقعیت شیب نسبی، تراکم زهکشی و شاخص رطوبت توپوگرافی به ترتیب با مقادیر ۱۷/۳، ۱۴/۲، ۱۳/۸ و ۱۰/۲ درصد از عوامل اصلی کنترل مکانی در منطقه مورد مطالعه هستند که در وقوع چشمه مؤثر هستند.
واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب زیرزمینی، عدم قطعیت، نسبت فراوانی، مدل مکسنت، منحنی مشخصه عملکرد نسبی.	

استناد: کهریزی؛ علی، ایزدبخش؛ محمدعلی، شعبانلو؛ سعید، یوسفوند؛ فریبرز، (۱۴۰۲) بررسی تأثیر سناریوهای عدم قطعیت در مدلسازی چشمه‌های آب زیرزمینی با استفاده از مدل مکسنت در حوزه آبخیز نمرو، تهران، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴ (۵)، ۷۳۶-۷۱۳.



<https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.325058.668989>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.325058.668989>

مقدمه

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع مهم تأمین آب‌های شیرین مورد نیاز انسان است. با افزایش چشمگیر فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی در سال‌های اخیر، نیاز به آب با کیفیت برای تأمین نیازهای رو به رشد افزایش پیدا کرده است. برای پاسخگویی به این تقاضای فزاینده، آب‌های زیرزمینی به دلیل پتانسیل پایین آلودگی و توزیع وسیع و متعادل، نسبت به آب‌های سطحی اولویت بیشتری دارند (Arkoprovo et al., 2012). آب‌های زیرزمینی یک منبع نامحدود نیستند، بنابراین برنامه ریزی استفاده از آن باید بر اساس درک رفتار سیستم‌های آب زیرزمینی با اطمینان از استفاده پایدار آن باشد (Bandyopadhyay and Bera, 2012). همانطور که تقاضا برای آب‌های زیرزمینی شیرین در جهان در حال افزایش است، ترسیم مناطق بالقوه چشمه‌های آب زیرزمینی به ابزاری مهم برای اجرای موفقیت‌آمیز برنامه‌های حفاظت و مدیریت آب‌های زیرزمینی تبدیل شده است. در دهه گذشته، برخی از محققان از چندین مدل مانند مدل‌های وزن واقعی^۱ و رگرسیون لجستیک^۲ (Pourtaghi and Pourghasemi, 2014)؛ رگرسیون اسپلاین انطباقی^۳ (Gutiérrez et al., 2009)؛ آنتروپی شانون^۴ و نسبت فراوانی^۵ (Oh et al., 2011؛ Pourtaghi et al., 2014؛ Moghaddam et al., 2015؛ Naghibi et al., 2015)؛ شبکه عصبی مصنوعی^۶ (Lee et al., 2012)؛ درخت رگرسیونی طبقه بندی شده^۷ و جنگل تصادفی^۸ (Naghibi et al., 2016) برای بررسی آب زیرزمینی استفاده کرده اند.

Nguyen et al. (2020) به تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در بخشی از منطقه ویتنام پرداختند. در این پژوهش از ۲۰ عامل محیطی از جمله، شیب، جهت شیب، ارتفاع، انحنا، انحنا، شاخص انتقال رسوب، شاخص رطوبت توپوگرافی، جهت جریان، بارش، تراکم زهکشی، خاکشناسی، کاربری اراضی و سنگ‌شناسی به‌عنوان پیش‌بینی کننده‌ها استفاده شد. معیار ارزیابی AUC و همچنین سایر معیارهای ارزیابی از جمله حساسیت، صحت سنجی، تشخیص و کاپا، توانایی بالای این مدل را در پیش‌بینی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی نشان داد.

Rahmati et al. (2016) برای تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی دو مدل جنگل تصادفی و ماکزیمم آنتروپی را در منطقه مهران ایران بکار بردند. پس از تهیه حدود ۱۹۱ نقطه آب زیرزمینی، و آماده سازی فاکتورهای مؤثر نقشه پتانسیل آب زیرزمینی تهیه شد. از منحنی ROC برای ارزیابی دقت مدل‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل ماکزیمم آنتروپی با دقت ۹۱ درصد عملکرد بهتری را نسبت به مدل جنگل تصادفی با دقت ۸۷/۷ درصد از خود نشان داد.

Golkarian and Rahmati (2018) از مدل مکسنت^۹ (حداکثر آنتروپی) برای شناسایی عوامل اصلی تأثیرگذار بر آب‌های زیرزمینی در دشت گناباد، ایران استفاده کردند. در این مطالعه آنها از ۱۳ عامل پیش‌بینی کننده از جمله: جهت شیب؛ تراکم زهکشی تراکم گسل، فاصله از گسل یا شکستگی دیگر. کاربری زمین؛ سنگ شناسی، انحنا، تراکم قنات؛ فاصله از رودخانه‌ها؛ شیب زمین، شاخص قدرت جریان (SPI)؛ و شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) استفاده کردند. نتایج نشان داد که فاکتورهای SPI، TWI و سنگ شناسی بیشترین تأثیر را در پتانسیل آب زیرزمینی در یک منطقه معین داشته است. این نشان دهنده اهمیت شیب، سطح تجمع آب و ویژگی‌های سنگ در پتانسیل آب زیرزمینی است. علاوه بر این، افزایش اهمیت این عامل با وقوع خشکسالی نشان داد که قنات‌ها سازه‌های مناسبی برای بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی هستند.

مدل بیشینه آنتروپی یکی از مدل‌های پیشرفته داده‌کاوی است که به دلیل مزایا و قابلیت‌های آن در تحقیقات مختلفی برای توزیع گونه (Ariyanto et al., 2015؛ Austin, 2007؛ Jaime et al., 2015)؛ حیات وحش (Baldwin, 2009). زون بندی کاشت محصولات (Williams et al., 2010؛ Thuiller et al., 2005)؛ پیش‌بینی وقایع مختلف طبیعی از جمله زمین لغزش (Kornejady et

۱ Weights-of-Evidence

۲ Logistic Regression

۳ multivariate adaptive regression

4 Shannon's Entropy

5 Frequency Ratio

6 artificial neural network

7 boosted regression tree

8 random forest

9 maximum entropy

(al., 2017)، فرسایش خندقی (Azareh et al., 2019; Javidan et al., 2020) و سیل (Siahkamari et al., 2018) استفاده شده است، که نشان دهنده توانایی بالای این مدل برای پیش‌بینی وقایع طبیعی است. به طور کلی مدل‌های داده‌کاوی دارای ویژگی‌های زیر می‌باشند: ۱- برخلاف مدل‌های آماری به فرضیه احتیاج ندارد. ۲- ابزارهای داده‌کاوی از انواع مختلف داده، نه تنها عددی می‌توانند استفاده کنند. ۳- الگوریتم‌های داده‌کاوی به طور اتوماتیک روابط را ایجاد می‌کنند. ۴- داده‌کاوی به داده‌های صحیح و درست نیاز دارد. با وجود مطالعات مختلف صورت گرفته یا استفاده از این مدل عدم قطعیت‌های زیادی در استفاده از آن وجود دارد. Pourghasemi et al. (2020) برای بررسی این عدم قطعیت‌ها برای پیش‌بینی مکانی زمین لغزش با استفاده از مدل داده‌کاوی درخت رگرسیونی پیشرفته (BRT)، سه سناریو تکنیک‌های موقعیت‌یابی زمین لغزش (مبتنی بر پیکسل^۱، سنترئید^۲، کرون^۳ و توی^۴)، استراتژی‌های نمونه‌گیری (فاصله ماهالانوبیس^۵ (MD) و نمونه‌گیری تصادفی (RS)) و نسبت تعداد نقاط وقوع زمین لغزش به عدم وقوع زمین لغزش (۱:۱)، (۱:۲ و ۱:۳) ایجاد کردند. نتایج نشان داد که سناریوی ترکیب 1: 2 pixel-based-MD عملکرد بهتری برای پیش‌بینی از خود نشان داد. همچنین Shirzadi et al. (2018) از دو سناریوی اندازه‌های مختلف نمونه و رزولوشن رستری برای پیش‌بینی مکانی زمین لغزش‌های کم عمق در اطراف شهر بیجار در استان کردستان استفاده کرد. نتایج نشان داد که، برای ترکیب اندازه‌های نمونه ۶۰/۴۰٪ و ۷۰/۳۰٪ با وضوح رستری ۱۰ متر، مدل RS^۶، در حالی که برای ۸۰/۲۰٪ و ۹۰/۱۰٪ با وضوح رستری ۲۰ متر، مدل MB^۷ از دقت و صحت و برازش بالا برخوردار است.

بنابراین برای اینکه مشخص شود برای پیش‌بینی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی مدل با چه وضوح رستری عملکرد بهتری را خواهد داشت، افزایش و یا کاهش نقاط مثبت تأثیری در افزایش دقت مدل دارد یا خیر. همچنین علی‌رغم استفاده از نسبت ۷۰ درصد نمونه‌ها برای آموزش مدل و ۳۰ درصد برای ارزیابی آن در اغلب مطالعات انجام گرفته استفاده از نسبت‌های دیگر ممکن است برای مدل مورد بررسی نتایج بهتری را در پی داشته باشد. برای پاسخ به این شکاف‌های تحقیقاتی مطالعه حاضر در منطقه نمرود تهران با استفاده از مدل شناخته شده مکسنت به عنوان نشانه و معیار^۸ با فرض اینکه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر وقوع خشکسالی باشد انجام گرفت چرا که آب زیرزمینی از یک سو به دلیل شیرین بودن، ترکیبات ثابت شیمیایی، دمای ثابت، ضریب آلودگی کمتر و سطح اطمینان بیشتر یک منبع قابل اتکا به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب شده و از سوی دیگر با تأثیر بر توان اکولوژیک سرزمین یک پدیده مهم و مؤثر در توسعه اقتصادی، تنوع اکولوژیکی و سلامت جامعه به حساب می‌آید (Pradhan و همکاران ۲۰۰۹). بنابراین تعیین پتانسیل منابع آب زیرزمینی با توجه به نیاز روزافزون به آب، امری ضروری و اجتناب ناپذیر تلقی می‌گردد. اهداف و نوآوری‌های زیر در این مطالعه در نظر گرفته شد:

تعیین موثرترین عوامل در پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از آزمون جک نایف

تعیین نواحی با پتانسیل بالای وقوع چشمه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

بررسی تأثیر سناریوهای مختلف تعداد نقاط حضور، وضوح رستری و اندازه نمونه

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

حوزه نمرود یکی از سرشاخه‌های حوزه حبله رودست که با مساحت ۵۳۱/۲۶۰ کیلومتر مربع بین ۱۶'، ۵۲' تا ۴۰'، ۵۲' طول شرقی و ۴۲'، ۳۵' تا ۵۶'، ۳۵' عرض شمالی در شمال غرب شهرستان فیروزکوه قرار داشته و از شمال و شمال غرب با حوزه رود هراز، محدود می‌شود. بیش از نیمی از حوزه ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا دارد و بوسیله رشته ارتفاعات مرتفع از اطراف محصور گردیده است. در بررسی ریخت شناسی حوزه ۵ واحد کوهستان، تپه، دشت‌های دامنه‌ای، دشت‌های رسوبی و رودخانه تفکیک شده است. از نظر

1 pixel-based

2 centroid

3 crown

4 toe

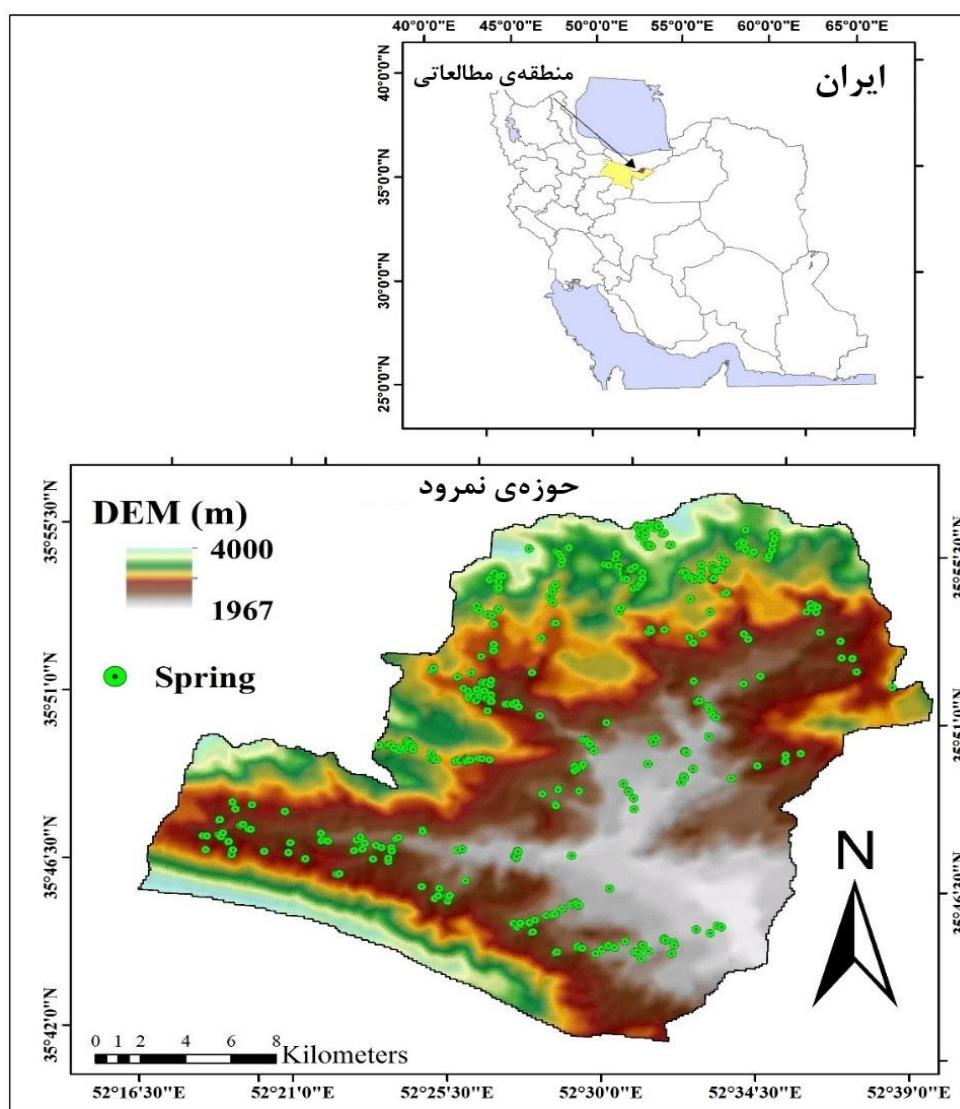
5 Mahalanobis distance

6 rotation forest

7 multiboost

8 Benchmark

زمین‌شناسی این حوزه در زون زمین‌شناسی البرز مرکزی در زیر زون جنوبی مرکزی که در آن رسوبات از ژوراسیک تا چهارم زمین‌شناسی پوشیده شده است و سازندهای دارای رخنمون در گستره منطقه به دوران مزوزوئیک، سنوزوئیک و کواترنری بوده است. گستره منطقه از نظر تکتونیکی در زون ساختاری البرز در شمال گسل مشاء در پهنه البرز شمالی واقع شده است. این پهنه از شمال به وسیله گسل خزر و از جنوب به وسیله گسل‌های مشاء فیروزکوه بسته می‌شود. گسل‌ها، درزه‌ها و پهن‌ها مهم‌ترین عناصر ساختاری منطقه می‌باشند. منطقه مطالعاتی در تابستان تحت تأثیر سیستم پرفشار جنب حاره قرار می‌گیرد که بدین لحاظ میزان بارش کم و ناچیز است، بارندگی‌های تابستانه اکثراً به دلیل عبور سیستم کم فشار دینامیکی می‌باشد که از نواحی شمالی ایران عبور می‌کند و باعث بارش‌هایی در قسمت شمالی می‌شود. در برخی موارد جریان‌های گرم و مرطوب موسمی اقیانوس هند در لایه زیر جو منطقه تأثیر می‌گذارد و چنانچه با امواج سیستم‌های کم فشار عرض‌های میانی تداخل نماید ضمن ایجاد ناپایداری بارش‌های شدیدی را سبب می‌شود. متوسط بارندگی کل حوزه ۵۶۳/۰۵ میلی‌متر می‌باشد. اقلیم منطقه به روش دومارتن نیمه‌خشک بوده و توزیع فصلی بارندگی بصورت ۴۵٪ زمستان، ۲۹٪ بهار، ۲۲٪ پاییز و ۳٪ تابستان می‌باشد (seyed ali et al., 2016).



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

مراحل انجام پژوهش

مطابق با شکل ۲، که نمودار جریانی مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد، مراحل انجام این پژوهش به شرح زیر است: ۱- آماده کردن

لایه‌های زمین - محیطی موثر بر وقوع چشمه ۲- بررسی هم‌خطی^۱ متغیرهای زمین محیطی و تعیین درصد تاثیر هر کلاس از متغیرهای زمین محیطی بر وقوع چشمه با استفاده از مدل نسبت فراوانی ۳- ایجاد سناریوها شامل سناریوی اول: اندازه نمونه (۹۰/۱۰، ۸۰/۲۰، ۷۰/۳۰، ۵۰/۵۰) سناریوی دوم: تعداد نقاط حضور (۱۰۰، ۵۰۰، ۸۰۰) چشمه، و سناریوی سوم وضوح رستری (۳۰، ۵۰، ۱۰۰) - اجرای مدل مکسنت برای ترکیبات مختلف سناریوهای تعریف شده. ۵: ارزیابی مدل براساس مساحت زیر منحنی ROC (AU-ROC) و انتخاب سناریوی برتر ۶: ترسیم نقشه پتانسیل آب زیرزمینی براساس ترکیب سناریوی برتر.



شکل ۲- نمودار جریان روش تحقیق

نقشه موقعیت چشمه‌های آب زیرزمینی

به منظور تهیه نقشه پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی با استفاده از مدل مکسنت ابتدا با توجه به آمار شرکت آب منطقه‌ای و تهیه پرسشنامه، چشمه‌های موجود در منطقه شناسایی گردیدند. برای بررسی سناریوی اول یعنی تعداد نقاط حضور^۲، نقشه موجودی^۳ تعداد ۱۰۰، ۵۰۰ و ۸۰۰ چشمه در محیط GIS تهیه و به عنوان ورودی‌های مدل آماده شد. همچنین برای بررسی سناریوی دوم هر گروه از این نقاط به اندازه‌های نمونه ۵۰/۵۰، ۷۰/۳۰، ۸۰/۲۰ و ۹۰/۱۰ درصد تقسیم شدند. یعنی ۵۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد از هر گروه برای آموزش مدل استفاده شد و به ترتیب ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۱۰ درصد برای آزمایش مدل مورد

1 Multi-collinearity test
2 number of presence points (NOF)
3 Inventory map

استفاده قرار گرفت. از چشمه‌های آموزشی در تحلیل‌ها استفاده شده و اعتبارسنجی نقشه نهایی با استفاده از چشمه‌های آزمایشی انجام می‌شود (Ghosh and Carranza, 2010; Pradhan, 2009; Ozdemir, 2011). موقعیت چشمه‌های موجود (NP=۵۰۰) در منطقه مطالعاتی در شکل ۱ یک نشان داده شده است.

متغیرهای زمین - محیطی^۱ موثر بر وقوع چشمه‌ها

جهت شناسایی و ارزیابی نواحی با پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی، باید چندین عامل مرتبط را با نقشه موجودی چشمه‌ها مورد ارزیابی قرار داد (Ozdemir et al., 2011). با مرور منابع و پژوهش‌های سابق انجام شده (Manap et al., 2011; Pourtaghi and Pourtaghi, 2014; Golkarian et al., 2018)، ابتدا شناسایی و توسعه لایه‌های مناسب داد‌های مکانی که منجر به ایجاد شرایط مطلوب برای چشمه‌ها می‌شود، تکمیل شد. در این پژوهش ۱۸ عامل مؤثر در ظهور چشمه‌ها شامل: سازندهای سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، تراکم گسل، طبقات ارتفاعی، درصد شیب، جهت شیب، فاکتور طول شیب، نقشه‌های انحنا، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی، موقعیت شیب نسبی، بافت خاک، شاخص زبری سطح، فاصله از جاده، شاخص توان جریان و پوشش کاربری اراضی انتخاب شدند و نقشه آن‌ها در سامانه ArcGIS 10.5 و SAGA^۲ تهیه گردید. برای بررسی سناریوی سوم، تمامی این لایه در سل سائیزهای ۳۰،۵۰ و ۱۰۰ مترمربع آماده شدند.

به این منظور با استفاده از نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاعی (شکل 3a) تهیه و عوامل درصد شیب، جهت شیب، فاکتور طول شیب، نقشه‌های انحنا و عامل موقعیت شیب نسبی از آن استخراج شد. توپوگرافی نقش مهمی در تغییرات مکانی شرایط هیدرولوژیکی مانند جریان آب زیرزمینی و رطوبت خاک دارد (Naghibi et al., 2016). طبق تعریف جهت شیب (شکل 3b) به مسیر حداکثر شیب اطلاق می‌گردد (Xu et al., 2012). جهت شیب از طریق تبخیر و تعرق به شدت بر فرآیندهای هیدرولوژیکی تأثیر می‌گذارد (Zabihi et al., 2016). فاکتور شیب (شکل 3c) یکی از پارامترهای ضروری مورفومتریک است. همچنین این فاکتور بخش بزرگی از یک منظره^۳ طبیعی را تشکیل داده و یک فاکتور مؤثر بر تراکم زهکشی، رواناب سطحی، نفوذ پوشش سطحی، رطوبت خاک و فرایندهای ژئومورفولوژیکی است (Gallardo-Cruz et al., 2009; Geroy et al., 2011). مقدار رطوبت و فشار آب منفذی قادر است در مقیاس محلی اثرگذار باشد در حالی که رفتار هیدرولوژیکی منطقه‌ای می‌تواند توسط عامل شیب زمین کنترل گردد (Mancini et al., 2010). اطلاعات ژئومورفولوژیکی مناسب را می‌توان از طریق تجزیه و تحلیل انحناى زمین به دست آورد (Tehrany et al., 2015) که این لایه از روی نقشه مدل رقومی ارتفاعی تهیه می‌گردد (شکل 3d,e)، و اثر محلی مورفومتریک را بر توزیع جریان نشان می‌دهد (Shary et al., 2002). انحناى شیب بیانگر شکل توپوگرافی است به طوری که تععر مثبت بیانگر سطحی است که پیکسل‌ها در آن به صورت محدب^۴، و تععر منفی بیانگر سطحی است که پیکسل‌ها در آن به صورت مقعر^۵ و مقدار صفر آن بیانگر سطحی است که شیب نداشته و به صورت مستقیم^۶ می‌باشد (Pourghasemi et al., 2020). علاوه بر این، نفوذ آب، تبخیر و جریان ماتریسی^۷ به ویژگی‌های منطقه و خاک از جمله فشار آب منفذی، نفوذ پذیری و رطوبت خاک بستگی دارد زیرا بر مقاومت خاک تأثیر می‌گذارد. TWI در روشن ساختن اثر توپوگرافی بر محل و اندازه منطقه اشباع شده و تولید رواناب کاربرد زیادی دارد (Beven and Freer, 2001) بنابراین، TWI به عنوان یک عامل حیاتی در این مطالعه در نظر گرفته شد (شکل 3f). برای محاسبه شاخص TWI از معادله زیر استفاده شد:

$$TWI = \ln \frac{AS}{\tan \beta} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در اینجا AS مساحت منطقه مورد نظر و β گرادیان شیب است.

مطالعات زیادی در ارتباط با رابطه میان پوشش گیاهی و پایداری دامنه‌ها انجام شده است (Gomez and Kavzoglu, 2005). تغییر در شرایط کاربری اراضی منجر به برهم خوردن تعادل طبیعی و ناپایداری می‌گردد (Sidel and Ochiai, 2006). کاربری اراضی می‌تواند بر رواناب، نفوذ و شارژ مجدد سفره‌های زیرزمینی در مناطق مختلف تأثیر بگذارد (Golkarian and Bhattacharya, 2010).

1 Geo-environmental factors
2 System for automated geoscientific analyses
3 landscape
4 Convex/Coves/Hollows
5 Concave/Noses
6 Flat/Straight
7 matrix flow

(Rahmati, 2018). نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از اداره آبخیزداری استان تهران تهیه شد که اساس تهیه این نقشه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست بوده است. کاربری‌های اراضی این منطقه شامل: باغ، مرتع و اراضی کشاورزی می‌باشد (شکل 3g). بافت خاک به‌عنوان یک مکانیسم مهم کنترل‌کننده نفوذ شناخته شده است (Vandekerckhove et al., 2003). نقشه بافت خاک از اداره منابع طبیعی استان تهران تهیه شد. بافت‌های لومی رسی شنی و لومی سیلتی از بافت‌های خاک اراضی این منطقه است (شکل 3h). نقشه‌های فاصله از گسل (شکل 3o)، فاصله از جاده (شکل 3m) و فاصله از شبکه آبراهه (شکل 3i) با استفاده از تابع فاصله اقلیدسی^۱ در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 تهیه شد. این لایه‌ها از طبقه ۵۸۸۹-۰ متر فاصله از جاده، ۱۲۷۶۳-۰ متر فاصله از شبکه آبراهه و ۴۷۸۰-۰ متر فاصله از گسل‌ها متغیر هستند.

عامل فاصله از شبکه آبراهه پایداری یک دامنه را از طریق اشباع مواد بر روی دامنه کنترل می‌کند (Yalcin, 2008). افزایش فاصله از رودخانه‌ها، به ویژه رودخانه‌های دارای جریان دائمی یا رودخانه‌هایی که جریان طولانی‌تری دارند، می‌تواند تأثیر منفی بر پتانسیل آب زیرزمینی داشته باشد (Deepa et al. 2016). به نظر می‌رسد، وقتی که فاصله از گسل‌ها کاهش می‌یابد، وسعت و گستردگی شکستگی و درجه هوازگی سنگ‌ها افزایش می‌یابد که این پدیده منجر به کم‌تر شدن مقاومت برشی می‌گردد (Conforti et al., 2014). بدون شک جاده‌سازی تأثیر منفی شدیدی بر پایداری شیب دارد (Jungerius et al., 2002). همچنین این متغیر به‌عنوان یکی از فاکتورهای تحت دخالت انسان در بسیاری از مطالعات حساسیت به کار گرفته شده است (Dehnavi et al., 2015). این عامل ممکن است منجر به تغییر در شرایط طبیعی دامنه و یا مناطق تپه ماهوری که قبل از احداث جاده کاملاً در تعادل بوده‌اند گردد (Yalcin, 2008). جاده‌ها و گسل‌ها از نقشه توپوگرافیکی ملی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استخراج شدند. خطوطی مانند گسل‌ها و سایر شکستگی‌های عمیق می‌توانند باعث تبادل آب سطحی و زیرسطحی شوند (Davoodi Moghaddam et al. 2013). به‌منظور تبدیل شبکه‌ی آبراهه و گسل به یک نقشه و کمیت قابل اندازه‌گیری، نقشه تراکم زهکشی (شکل 3k) و تراکم گسل (شکل 3j) با استفاده از دستور "Line density" در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 تهیه شد. این شاخص‌ها به ترتیب عبارتند از نسبت طول کل رودخانه‌ها و گسل‌ها در یک حوضه آبخیز مشخص یا یک منطقه معین به کل مساحت حوضه آبخیز یا منطقه دربرگیرنده آن رودخانه‌ها و گسل‌ها. هرچه تراکم آبراهه بیشتر باشد، مقدار نفوذپذیری سنگ‌ها کمتر و بنابراین سرعت جریان سطحی کمتر می‌گردد، در نتیجه باعث اشباع شدن لایه‌های سطح‌الارضی می‌گردد (Demir et al., 2015) و با افزایش تراکم گسل نفوذپذیری افزایش می‌یابد (Zabihi et al., 2016).

شاخص موقعیت شیب نسبی (RSP) یکی دیگر از شاخص‌هایی است که از روی مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از نرم‌افزار SAGA تهیه شده است (شکل 3l). اطلاعات عمومی در مورد مفهوم محاسباتی این شاخص توسط (Böhner and Selige, 2006) بیان شده است. عامل طول شیب (LS) ترکیبی از زاویه و طول شیب دامنه می‌باشد. این عامل فاصله از منشأ ایجاد جریان سطحی در امتداد مسیر جریان و یا تا محل رسوب‌گذاری نهشته‌ها می‌باشد. Moore et al., (1991) رابطه زیر را برای محاسبه این عامل پیشنهاد کردند:

$$LS = \left(\frac{As}{22.13}\right)^{0.4} \left(\frac{\sin\beta}{.0896}\right)^{1.3} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن As مساحت ویژه حوزه آبخیز و β زاویه شیب محلی بر حسب درجه است. این شاخص براساس نقشه رقومی ارتفاع در محیط نرم‌افزار SAGA تهیه می‌شود (شکل 3m).

واحدهای سنگ‌شناسی متفاوت تفاوت‌های چشمگیری در ناپایداری دامنه نشان می‌دهد (Meinhardt et al., 2015). این عامل همچنین می‌تواند بر ویژگی‌های مختلف یک سفره آب^۲، به ویژه تخلخل و نفوذپذیری آن تأثیر بگذارد (Golkarian and Rahmati, 2018). در پژوهش حاضر، نقشه سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی موجود در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از بخش مطالعات زمین‌شناسی ایران، تهیه شده است (شکل 3p). با توجه به مقاومت متفاوت سازندها نسبت به هوازگی گروه‌بندی کردن واحدهای سنگ‌شناسی ضروری می‌باشد. حوزه آبخیز نمرود تحت پوشش انواع مختلف سازندهای سنگ‌شناسی قرار دارد و در ۸ گروه طبقه‌بندی شده است (جدول ۱).

شاخص زبری سطح یا ناهمواری زمین معیاری است که توسط Riley et al. (1999) برای بیان تفاوت ارتفاع بین یک سلول و میانگین ماتریس هشت سلولی سلول‌های اطراف ایجاد شده است. این شاخص از روی مدل رقومی ارتفاعی در نرم‌افزار SAGA تهیه می‌شود (شکل 3q).

شاخص توان جریان (SPI) بر اساس مدل رقومی ارتفاع زمین در محیط GIS. برای محاسبه این شاخص از معادله زیر استفاده شد:

1 Euclidean distance
2 aquifer

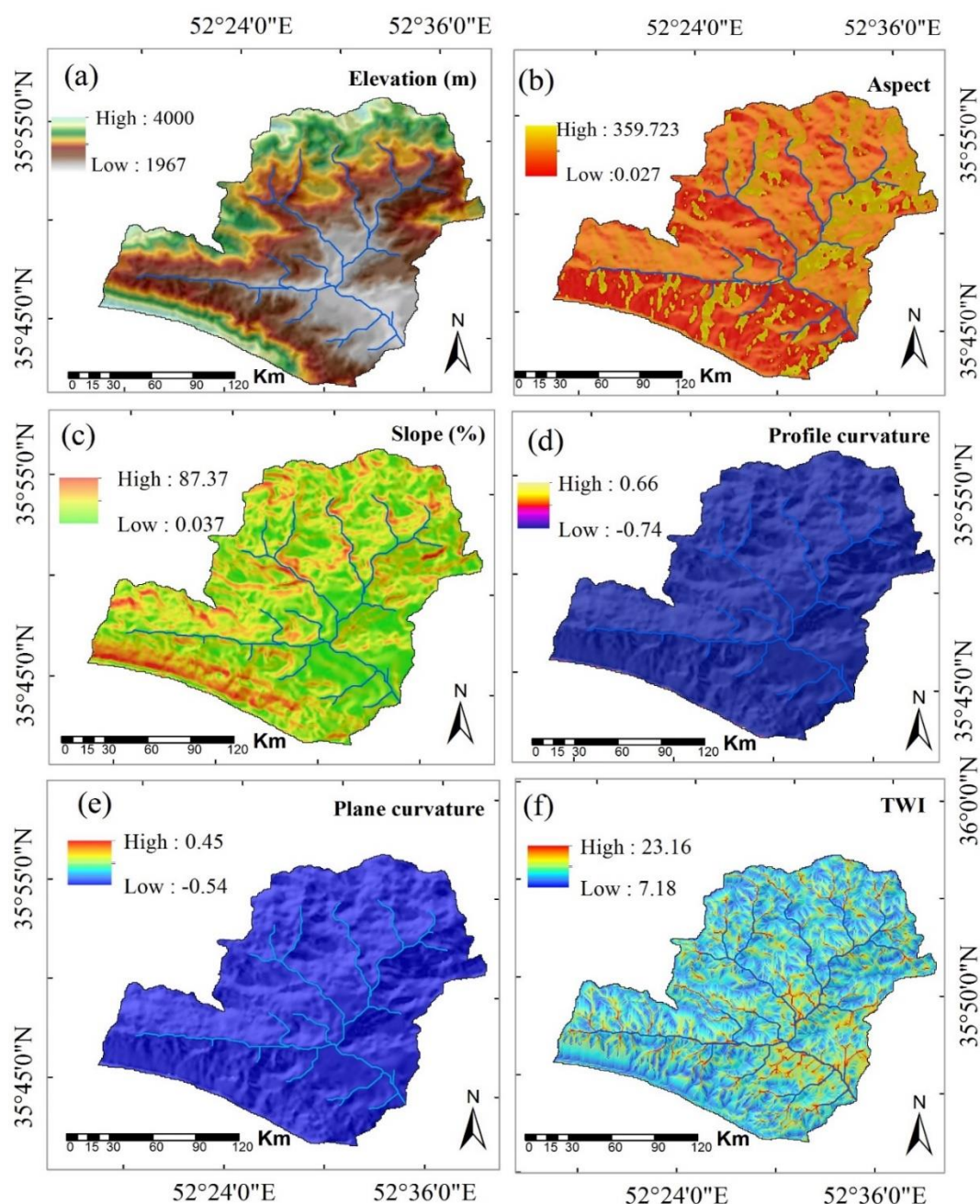
این شاخص بر این فرض استوار است که دبی متناسب است با مساحت ویژه حوضه آبخیز (A_s) و بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌گردد: (Moore et al., 1991).

$$SPI = A_s \tan \beta \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن A_s مساحت ویژه حوضه آبخیز و β زاویه شیب محلی بر حسب درجه است. این شاخص را می‌توان بر حسب تجمعی جریان به صورت زیر هم نوشت:

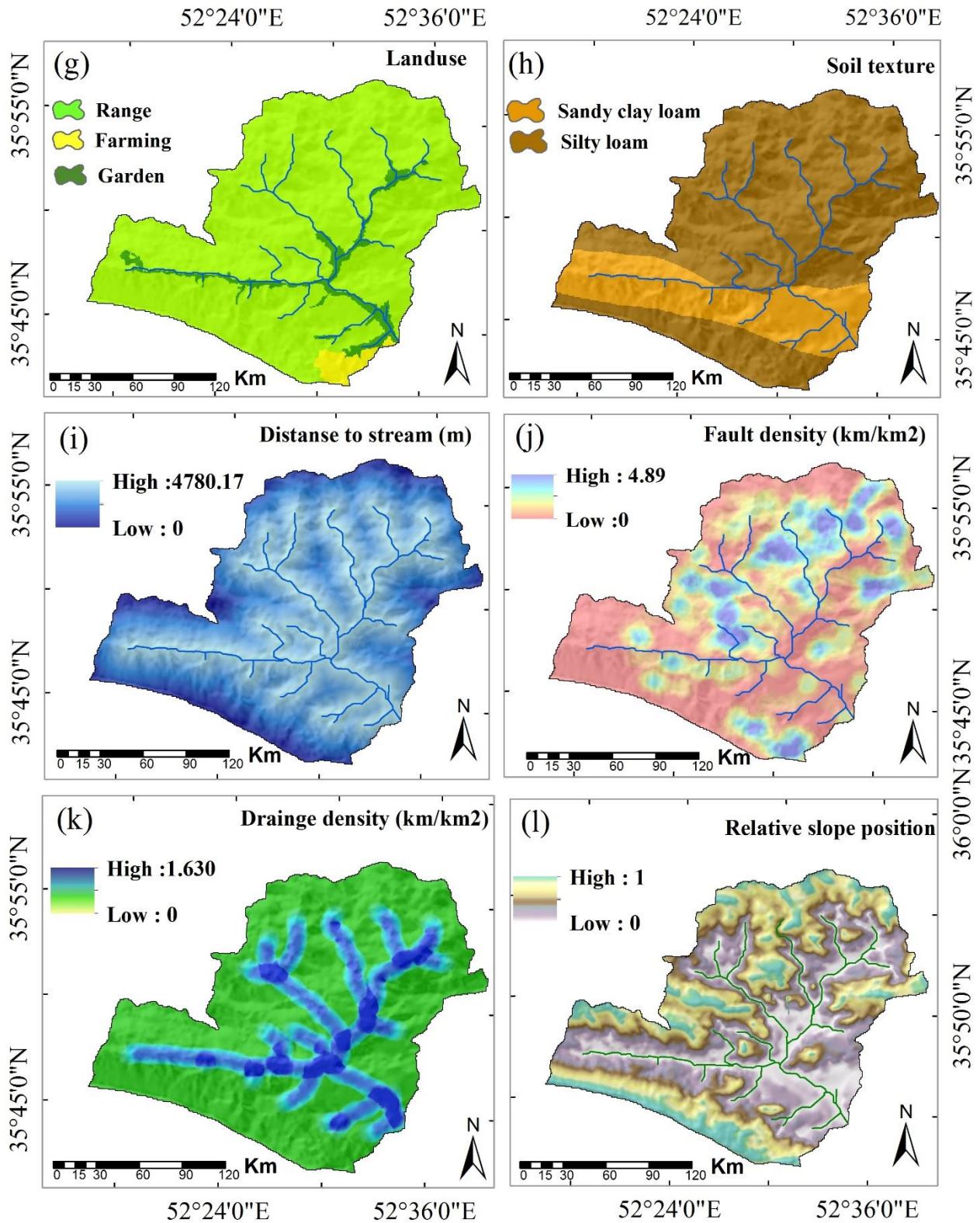
$$SPI = Ln((FlowACCUMULATION + 1) \times CellArea \times \tan(Slope)) \quad \text{رابطه ۴}$$

این شاخص بر اساس نقشه رقومی ارتفاعی در محیط نرم‌افزار SAGA تهیه و پس از خروجی گرفتن و ارسال به محیط ArcGIS رستری به عنوان یکی از ورودی‌ها برای مدل‌سازی در نظر گرفته شد.



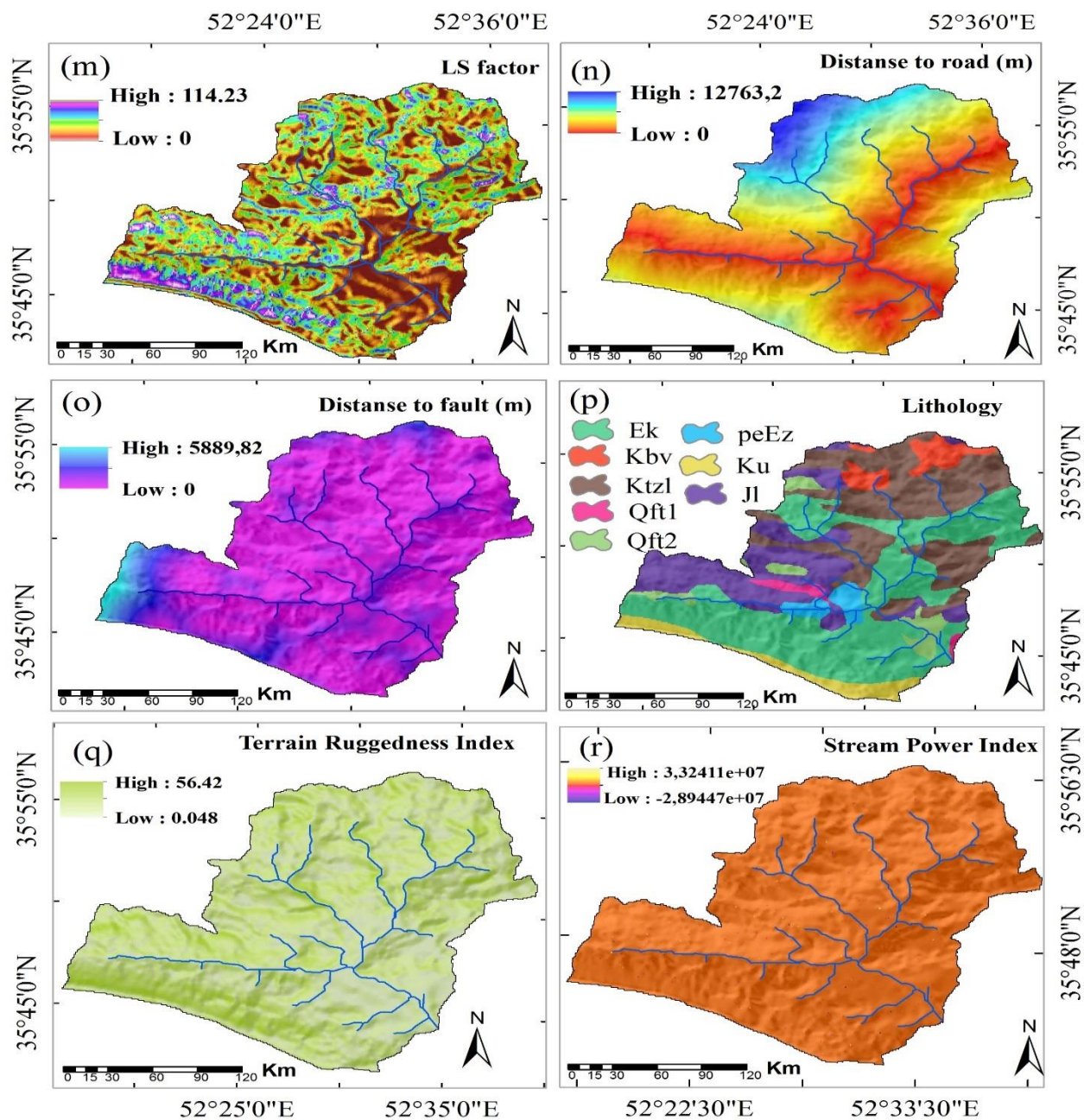
شکل ۳- لایه‌های زمین محیطی موثر بر وقوع چشمه

- a. Elevation, b. Aspect, c. Slope, d. Profile curvature, e. Plan curvature, f. TWI, g. Land use, h. Soil texture, i. Distance to stream, j. Fault density, k. Drainage density, l. Relative slope position, m. Ls factor, n. Distance to road, o. Distance to fault, p. Lithology, q. Terrain ruggedness index, r. Stream power index



ادامه شکل ۳- لایه‌های زمین محیطی موثر بر وقوع چشمه

a. Elevation, b. Aspect, c. Slope, d. Profile curvature, e. Plan curvature, f. TWI, g. Land use, h. Soil texture, i. Distance to stream, j. Fault density, k. Drainage density, l. Relative slope position, m. Ls factor, n. Distance to road, o. Distance to fault, p. Lithology, q. Terrain ruggedness index, r. Stream power index



ادامه شکل ۳- لایه‌های زمین محیطی موثر بر وقوع چشمه

a. Elevation, b. Aspect, c. Slope, d. Profile curvature, e. Plan curvature, f. TWI, g. Land use, h. Soil texture, i. Distance to stream, j. Fault density, k. Drainage density, l. Relative slope position, m. Ls factor, n. Distance to road, o. Distance to fault, p. Lithology, q. Terrain ruggedness index, r. Stream power index

جدول ۱ - سازندهای سنگ‌شناسی حوزه آبخیز نم‌رود

گروه	کد	سازند
1	Ek	کرج
2	Jl	لار
3	Kbv	-
4	Ktzt	تیزکوه
5	Ku	-
6	PeEz	زیارت
7	Qft1	تراس‌های آبرفتی
8	Qft2	تراس‌های آبرفتی

بررسی هم‌خطی^۱ متغیرهای زمین محیطی، تعیین درصد تاثیر هر کلاس از متغیرهای زمین محیطی بر وقوع چشمه با استفاده از متد نسبت فراوانی

باتوجه به این که هم‌خطی یکی از دلایل افزایش خطا و کاهش کارایی مدل می‌باشد و ممکن است به پیش‌بینی‌های خارج از دامنه مورد انتظار منجر شود، از این رو پیش از فرایند مدل‌سازی این موضوع می‌بایست بررسی شود. در حقیقت استفاده از متغیرهای مستقل، دقت مدل را کاهش داده و سبب ناپایداری در برآورد ضرایب تابعیت می‌شود (Shahin and Hassan و Pourghasemi et al. ۲۰۲۰). بعد از آماده‌سازی لایه‌ها، برای آنالیز این داده‌ها و بررسی هم‌خطی آنها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. با کنترل کردن شاخص‌های آستانه تحمل^۲ و عامل تورم واریانس^۳ (VIF)، می‌توان قضاوت درستی در مورد هم‌خطی داشت (Greene, 2000). در حقیقت VIF عکس آستانه تحمل است (Daoud, 2017).

همچنین در این پژوهش، پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، تمامی آنها با استفاده از روش شکستن طبیعی کلاس‌بندی شدند، درصد وقوع چشمه در هر طبقه تعیین شد. سپس فراوانی وقوع در هر طبقه با استفاده از هم‌پوشانی نقشه پراکنش چشمه با هر کدام از لایه‌های عوامل به دست آمد. این روش میزان دقیقی از وزن مربوط به هر طبقه را محاسبه می‌کند (Lee and Pradhan, 2007).

مدل پیش‌بینی کننده بیشینه آنتروپی^۴ (مدل مکسنت^۵)

تئوری اطلاعات و اصول آماری اساس MaxEnt است. مفهوم آنتروپی اولین بار توسط Shannon (1948) به عنوان مقدار مورد انتظار (متوسط) داده‌های موجود در شرایط مورد مطالعه تعریف شد. سپس به‌عنوان یکی از رایج‌ترین مدل‌های پیش‌بینی کننده در زمینه‌های مختلف علوم طبیعی و محیط‌زیست شناخته شده است (Park, 2015). یکی از مزیت‌های اصلی این الگوریتم عدم نیاز به نقاط عدم وقوع پدیده مورد بررسی در مدل‌سازی است (Felicísimo et al., 2013)؛ بنابراین فقط نقاط وقوع به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود. از دیگر قابلیت‌های مهم مدل مکسنت، عدم حساسیت آن به تعداد وقایع است (Kornejady et al., 2017)؛ بنابراین در مناطقی که تعداد وقایع زیاد نیست می‌تواند پیش‌بینی‌های قابل قبولی ارائه دهد. برای توصیف کمی عدم قطعیت و اطلاعات محتوای یک رویداد تصادفی می‌توان از اصل آنتروپی استفاده نمود (Vorpahl et al., 2012). به‌منظور اجرای مدل بیشینه آنتروپی از نرم‌افزار MaxEnt استفاده می‌شود. تمامی لایه‌های تولید شده در نرم‌افزار GIS و SAGA به فرمت ASCII تبدیل شده و به‌عنوان ورودی مدل همراه با فایل نقطه‌ای چشمه‌های ثبت شده استفاده می‌شوند. تعیین مهمترین عوامل موثر بر پتانسیل آب‌های زیرزمینی می‌تواند در مدیریت منابع آب مفید باشد (Golkarian and Rahmati, 2018). این مدل قادر است که مهمترین متغیرهای موثر بر پتانسیل آب زیرزمینی را با استفاده از آزمون Jackknife انجام دهد. در این آزمون با استفاده از روش حذفی، در هر مرحله یکی از متغیرهای مستقل حذف شده و مدل‌سازی خطر سیل‌گیری بدون آن متغیر انجام می‌شود. سپس میزان افت دقت نقشه نهایی (میزان کاهش دقت) به ازای حذف آن متغیر محاسبه می‌گردد (Rahmati et al., 2017).

اعتبارسنجی عملکرد مدل مکسنت

برای اعتبارسنجی مدل MaxEnt، باید یک منحنی میزان موفقیت^۶ (SRC) و یک منحنی میزان پیش‌بینی^۷ (PRC) رسم شود. این منحنی‌ها با استفاده از مجموعه داده‌های آموزش و آزمایش ترسیم می‌شوند. در هر دو منحنی، محور عمودی مربوط به میزان تشخیص صحیح مکان‌هایی با پتانسیل آب زیرزمینی و محور افقی مربوط به میزان تشخیص صحیح مکان‌های فاقد پتانسیل آب زیرزمینی است. سطح زیر SRC (AUSRC) نشان دهنده دقت و سطح زیر PRC (AUPRC) نشان دهنده قدرت پیش‌بینی یا تعمیم مدل است (Felicísimo et al., 2013). اگرچه در مدل‌سازی‌های ژئومورفولوژیک بایستی از معیارهای ارزیابی مختلفی برای اعتبارسنجی دقت مدل استفاده کرد، اما با توجه به پیشینه تحقیق در این زمینه، روش منحنی مشخصه عامل گیرنده به‌عنوان جامع‌ترین روش در نظر گرفته می‌شود (Walter, 2002). به‌طور کلی، تقسیم ۱-۰/۹، بسیار خوب، ۰/۸-۰/۹، خوب، ۰/۷-۰/۸، خوب، متوسط و ۰/۶-۰/۷، ضعیف، را برای

1 Multi-collinearity test

2 Tolerance

3 Variance Inflation Factor (VIF)

4 Maximum entropy

5 MaxEnt

6 success rate curve

7 prediction rate curve

همبستگی کیفی و کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین ارائه کرده‌اند (Yessilnacar, 2005^۱، ۲۰۰۵؛ Devkota et al., 2013). در این پژوهش برای بررسی عدم قطعیت‌های موجود در مدل‌سازی، مدل براساس سه سناریوی مختلف تعداد نقاط حضور^۲ (۱۰۰، ۵۰۰، ۸۰۰) چشمه، وضوح رستری^۳ (۱۰۰، ۵۰، ۳۰) و اندازه نمونه^۴ (۹۰/۱۰، ۸۰/۲۰، ۷۰/۳۰، ۵۰/۵۰) اجرا شد و براساس نتایج دقت بدست آمده بهترین ترکیب سناریو(بالاترین دقت) برای تهیه نقشه‌ی پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی انتخاب شد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی هم‌خطی و درصد تاثیر هر کلاس از متغیرهای زمین-محیطی موثر بر وقوع چشمه با استفاده از متد نسبت فراوانی شرط هم‌خطی بودن لایه‌ها این است که VIF بیشتر از ۵ و آستانه تحمل کمتر از ۰/۱ باشد (Ozdemir, 2011) که این موضوع فرایند مدل‌سازی را دچار مشکل می‌کند. با برقرار بودن این شرط لایه‌های دارای همبستگی حذف و دوباره مدل بودن آن لایه اجرا می‌شود. بررسی همبستگی تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که این مقادیر به حالت نرمال برسند. در پژوهش حاضر با انجام این آزمون لایه‌های فاصله از جاده و شاخص زبری سطح از بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده حذف شدند. جدول (۲) نتایج این آزمون را برای سایر متغیرهای مورد استفاده در پژوهش نشان می‌دهد. همچنین در این پژوهش ابتدا مطابق با جدول(۳) مقادیر درصد وقوع چشمه و فراوانی آن را در هر طبقه بدست آمد و سپس مقدار شاخص پتانسیل آب زیرزمینی برای روش نسبت فراوانی، برای هر سلول محاسبه گردید. مقدار $FR=1$ همبستگی متوسط بین مکان‌های چشمه و عوامل موثر را نشان می‌دهد. اگر مقدار از ۱ بیشتر باشد، همبستگی بالایی وجود دارد و مقادیر کمتر از ۱، همبستگی پایین را نشان می‌دهد (Lee and Pradhan, 2007).

جدول ۲- بررسی هم‌خطی بین متغیرهای زمین- محیطی موثر بر وقوع چشمه

عوامل پیش‌بینی‌کننده	هم‌خطی آماری	
	آستانه تحمل	عامل تورم واریانس (VIF)
انحنای عرضی	۰/۷۲۹	۱/۳۷۲
تراکم زهکشی	۰/۳۳۴	۲/۹۹۷
موقعیت شیب نسبی	۰/۳۲۸	۱/۵۹۲
درصد شیب	۰/۳۹۴	۲/۵۳۸
بافت خاک	۰/۸۸۰	۱/۱۳۶
فاکتور طول شیب	۰/۲۴۱	۴/۱۵۶
طبقات ارتفاعی	۰/۴۵۱	۲/۲۱۵
فاصله از گسل	۰/۸۰۴	۱/۲۴۴
فاصله از شبکه آبراهه	۰/۳۱۱	۳/۲۱۷
کاربری اراضی	۰/۸۵۷	۱/۱۶۷
سنگ‌شناسی	۰/۹۰۷	۱/۱۰۳
تراکم گسل	۰/۴۴۴	۲/۲۵۰
شاخص رطوبت توپوگرافی	۰/۴۹۴	۲/۰۲۲
انحنای طولی	۰/۶۰۴	۱/۶۵۷
جهت شیب	۰/۹۸۵	۱/۰۱۶

1 Yesilnacar

2 number of presence points(NOF)

3 raster resolution

4 Sample size



جدول ۳- رابطه مکانی نسبت فراوانی بین پتانسیل آب زیرزمینی و عوامل مؤثر بر وقوع چشمه

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد پیکسل	تعداد چشمه	درصد چشمه	نسبت فراوانی	
جهت شیب	مسطح	۷۶۸۷	۱۴/۴۷	۱۴	۹/۳۳	۰/۶۴	
	شمال	۸۱۹۹	۱۵/۴۴	۲۸	۱۸/۶۷	۱/۲۱	
	شمال شرق	۵۵۷۹	۱۰/۵۰	۲۱	۱۴/۰۰	۱/۳۳	
	شرق	۸۱۴۴	۱۵/۳۳	۲۵	۱۶/۶۷	۱/۰۹	
	جنوب شرق	۱۰۷۹۳	۲۰/۳۲	۱۷	۱۱/۳۳	۰/۵۶	
	جنوب	۵۵۲۹	۱۰/۴۱	۱۴	۹/۳۳	۰/۹۰	
	جنوب غرب	۳۲۹۱	۶/۲۰	۱۶	۱۰/۶۷	۱/۷۲	
	غرب	۳۸۹۳	۷/۳۳	۱۵	۱۰/۰۰	۱/۳۶	
	طبقات ارتفاعی	۲۰۶۸/۹۶-۲۳۷۲/۵۵	۱۰۲۵۵	۱۹/۳۱	۲۳	۱۵/۳۳	۰/۷۹
		۲۳۷۲/۵۵-۲۷۲۴/۴۴	۱۲۳۴۸	۲۳/۲۵	۴۸	۳۲/۰۰	۱/۳۷
۲۷۲۴/۴۴-۳۰۵۵/۶۳		۱۱۸۰۸	۲۲/۲۳	۴۸	۳۲/۰۰	۱/۴۴	
۳۰۵۵/۶۳-۳۳۶۶/۱۲		۱۲۳۸۳	۲۳/۳۱	۲۵	۱۶/۶۷	۰/۴۷	
۳۳۶۶/۱۲-۳۸۲۴/۴۱		۶۳۲۱	۱۱/۹۰	۶	۴/۰۰	۰/۳۴	
فاصله از گسل	۰-۲۱۹/۸۸	۲۹۲۰۲	۵۴/۹۸	۷۶	۵۰/۶۷	۰/۹۲	
	۲۱۹/۸۸-۵۰۲/۵۸	۱۳۹۲۹	۲۶/۲۲	۵۷	۳۸/۰۰	۱/۴۵	
	۵۰۲/۵۸-۸۲۴/۵۵	۶۴۲۳	۱۲/۰۹	۸	۵/۳۳	۰/۴۴	
	۸۲۴/۵۵-۱۲۱۷/۲۰	۲۰۵۰	۳/۸۶	۵	۳/۳۳	۰/۸۶	
	۱۲۱۷/۲۰-۲۰۲/۴۹	۱۵۱۱	۲/۸۴	۴	۲/۶۷	۰/۹۴	
فاصله از رودخانه	۰-۵۳۳/۸۸	۱۵۵۷۳	۲۹/۳۲	۸۴	۵۶/۰۰	۱/۹۱	
	۵۳۳/۸۸-۱۱۱۳/۵۳	۱۳۹۰۲	۲۶/۱۷	۲۶	۱۷/۳۳	۰/۶۶	
	۱۱۱۳/۵۳-۱۷۳۸/۹۳	۱۱۰۰۲	۲۰/۷۱	۲۴	۱۶/۰۰	۰/۷۷	
	۱۷۳۸/۹۳-۲۴۸۶/۳۷	۷۶۹۰	۱۴/۴۸	۱۰	۶/۶۷	۰/۴۶	
	۲۴۸۶/۳۷-۳۸۸۹/۷۲	۴۹۴۸	۹/۳۲	۶	۴/۰۰	۰/۴۳	
تراکم گسل	۰-۰/۷۰	۲۳۲۴۵	۴۳/۷۶	۶۱	۴۰/۶۷	۰/۹۳	
	۰/۷۰-۱/۶۳	۱۴۴۲۸	۲۷/۱۶	۵۴	۳۶/۰۰	۱/۳۳	
	۱/۶۳-۲/۷۳	۱۰۰۹۷	۱۹/۰۱	۲۸	۱۸/۶۷	۰/۹۸	
	۲/۷۳-۴/۴۷	۵۳۴۵	۱۰/۰۶	۷	۴/۶۷	۰/۴۶	
فاکتور طول شیب	۰-۲/۸۰	۱۸۵۲۳	۳۴/۸۷	۶۴	۴۲/۶۷	۱/۲۲	
	۲/۸۰-۶/۱۳	۱۶۶۰۵	۳۱/۲۶	۴۸	۳۲/۰۰	۱/۰۲	
	۶/۱۳-۹/۹۹	۱۲۶۰۸	۲۳/۷۴	۳۳	۲۲/۰۰	۰/۹۳	
	۹/۹۹-۲۲/۳۶	۵۳۷۹	۱۰/۱۳	۵	۳/۳۳	۰/۳۳	
انحنای طولی	مقعر	۳۵۳۷	۶/۶۶	۱۷	۱۱/۳۳	۱/۷۰	
	مسطح	۴۵۴۹۹	۸۵/۶۶	۱۳۰	۸۶/۶۷	۱/۰۱	
	محدب	۴۰۷۹	۷/۶۸	۳	۲/۰۰	۰/۲۶	
انحنای عرضی	مقعر	۵۸۲۷	۱۰/۹۷	۳۰	۲۰	۱/۸۳	
	مسطح	۴۱۴۸۵	۷۸/۱۰	۱۱۶	۷۷/۳۳	۰/۹۹	
	محدب	۵۸۰۳	۱۰/۹۳	۴	۲/۶۷	۰/۲۴	
تراکم زهکشی	۰-۰/۱۸	۳۵۳۴۴	۶۶/۵۴	۴۴	۲۹/۳۳	۰/۶۸	
	۰/۱۸-۰/۵۲	۵۹۱۵	۱۱/۱۴	۲۴	۱۶/۰۰	۱/۴۴	
	۰/۵۲-۰/۸۹	۸۹۴۰	۱۶/۸۳	۶۸	۴۵/۳۳	۱/۷۴	
	۰/۸۹-۱/۶۱	۳۹۱۶	۵/۴۹	۱۴	۹/۳۳	۱/۷۰	
موقعیت شیب نسبی	۰-۰/۲۲	۱۷۸۵۲	۳۳/۶۱	۷۵	۵۰/۰۰	۱/۴۹	
	۰/۲۲-۰/۴۹	۱۱۹۴۲	۲۲/۴۸	۲۶	۱۷/۳۳	۰/۷۷	
	۰/۴۹-۰/۷۶	۱۱۱۰۸	۲۰/۹۱	۴۲	۲۸/۰۰	۱/۳۴	
	۰/۷۶-۱	۱۲۲۱۳	۲۲/۹۹	۷	۴/۶۷	۰/۲۰	
درصد شیب	۰/۰۶-۱۱/۵۵	۱۲۸۱۸	۲۴/۱۳	۴۸	۳۲/۰۰	۱/۳۳	
	۱۱/۵۵-۲۲/۷۲	۱۳۳۹۷	۲۵/۲۲	۴۶	۳۰/۶۷	۱/۲۲	
	۲۲/۷۲-۳۳/۸۹	۱۳۱۶۵	۲۴/۷۹	۴۲	۲۸/۰۰	۱/۱۳	
	۳۳/۸۹-۴۶/۶۲	۹۴۹۰	۱۷/۸۷	۱۲	۸/۰۰	۰/۴۵	
	۴۶/۶۲-۷۹/۲۰	۴۲۴۵	۷/۹۹	۲	۱/۳۳	۰/۱۷	

ادامه جدول ۳- رابطه مکانی نسبت فراوانی بین پتانسیل آب زیرزمینی و عوامل مؤثر بر وقوع چشمه

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد پیکسل	تعداد چشمه	درصد چشمه	نسبت فراوانی
شاخص رطوبت توپوگرافی	۷/۳۳-۹/۷۳	۲۴۸۴۱	۴۶/۷۷	۳۸	۲۵/۳۳	۰/۵۴
	۹/۷۳-۱۱/۵۸	۱۹۴۳۱	۳۶/۵۸	۶۴	۴۲/۶۷	۱/۱۷
	۱۱/۵۸-۱۴/۸۷	۶۸۴۲	۱۲/۸۸	۳۳	۲۲/۰۰	۱/۷۱
	۱۴/۸۷-۲۲/۵۸	۲۰۰۱	۳/۷۷	۱۵	۱۰/۰۰	۲/۶۵
کاربری اراضی	باغ	۲۹۴۲	۵/۵۴	۱۰	۶/۶۷	۱/۰۱
	مرتع و کشاورزی	۴۹۰۳۳	۹۲/۳۱	۱۴۰	۹۳/۳۳	۱/۲۰
سنگ شناسی	Ek	۲۰۹۵۱	۳۹/۴۴	۵۸	۳۸/۶۷	۰/۹۸
	Jl	۹۳۹۳	۱۷/۶۸	۲۳	۱۵/۳۳	۰/۸۷
	Kbv	۲۲۰۵	۴/۱۵	۱۸	۱۲/۰۰	۲/۸۹
	Ktzl	۱۴۱۸۸	۲۶/۷۱	۳۶	۲۴/۰۰	۰/۹۰
	PeEz	۱۳۶۴	۲/۵۷	۴	۲/۶۷	۱/۰۴
	Qft1	۶۴۶	۱/۲۲	۰	۰/۰۰	۰/۰۰
	Qft2	۱۹۹۸	۳/۷۶	۱۱	۷/۳۳	۱/۹۵
	لومی رسی سیلتی	۴۰۴۰۲	۷۶/۰۷	۱۱۷	۷۸	۱/۰۳
لومی سیلتی	۱۲۷۱۳	۲۳/۹۳	۳۳	۲۲	۰/۹۲	

نتایج نشان داد که مقادیر FR با افزایش ارتفاع در منطقه مورد مطالعه افزایش یافته و سپس از ارتفاع ۳۰۰۰ متر، احتمال وقوع چشمه کاهش می‌یابد. که (Davoodi Moghaddam (2013 در مطالعه‌ی خود به این نتیجه دست یافتند. براساس نتایج ارائه شده، بیشترین تعداد چشمه در کلاس جهت شیب شمال شرق و جنوب شرق است که این امر نشان‌دهنده‌ی زیاد بودن پتانسیل آب زیرزمینی در جهت مذکور است و کمترین آن در مناطق مسطح رخ داده است. شاید دلیل آن وجود گسل‌های منطقه‌ی مطالعاتی می‌باشد که به نحوی در ایجاد درزه و چشمه مؤثرند.

نتایج نشان داد که شیب‌های کمتر از ۳۳ درصد بیشترین احتمال وقوع چشمه را دارند. با افزایش شیب، رواناب نیز افزایش می‌یابد (Israil et al., 2006) که منجر به کاهش نفوذ می‌شود (Jaiswal et al., 2003). همچنین در فاصله صفر تا ۶۵۶ متری از آبراهه نیز بیشترین تعداد چشمه را در خود جای داده است. به گفته Madrucci et al. (2008) شیب‌های بالا به دلیل عدم وجود چشمه‌ها، محدودیتی برای مطلوبیت آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته می‌شوند. در مورد سنگ‌شناسی کلاس EK و Ktzl که به ترتیب مربوط به سازند کرج و تیزکوه است بیشترین تعداد وقوع چشمه را داشت. سازند کرج دارای لیتولوژی‌های متنوع آذر-آواری و گدازه‌های آندزیتی، بازالتی همراه با شیل و توفیت‌های مارنی و سازند تیزکوه متشکل از سنگ‌های آذرین بازالتی قدیمی در قاعده و آهک‌های اوربیتولین دار و سنگ‌های آهکی بیوژنیک چرت‌دار و سنگ‌های آهکی فسیل دار است. این مناطق برای نفوذ آب‌های سطحی به زمین مناسب هستند. بیشترین تعداد وقوع چشمه به ترتیب مربوط به طول شیب کمتر از ۶/۴۳ متر است و مقدار FR با افزایش طبقات طول شیب کاهش می‌یابد، که این نتیجه با مطالعه (Davoodi Moghaddam et al. (2013 همخوانی دارد. در رابطه با عوامل انحنا سطح، انحنا مقرر داری مقدار FR بیشتر از یک است. زیرا دامنه‌ی مقرر حاوی آب بیشتری است و و این آب را برای مدت طولانی تری مخصوصاً در زمان بارندگی‌های شدید حفظ می‌کند (Lee and Pradhan, 2007). بنابراین برای آب‌های زیرزمینی در مقایسه با شیب محدب مطلوب‌تر است. در مورد کاربری اراضی، می‌توان دریافت که طبقات کشاورزی و مرتع دارای مقدار FR ۱/۲۰ بوده که نشان می‌دهد احتمال وقوع چشمه در این نوع کاربری‌ها بسیار زیاد است.

بررسی عوامل دیگر نشان می‌دهد که بیشترین تعداد وقوع چشمه به ترتیب مربوط، تراکم زهکشی ۰/۹۰-۰/۵۲، رطوبت توپوگرافی ۱۱/۵۷-۱۴/۸۳، تراکم گسل کمتر از ۰/۵، فاصله از گسل کمتر از ۳۰۰ متر است. برای فاصله از گسل‌های بالای ۳۰۰ متر، رابطه بین وقوع چشمه و گسل نشان دهنده احتمال کم وقوع چشمه است. بنابراین وجود رابطه‌ی معکوس بین فاصله از گسل و تعداد چشمه نیز از دیگر نتایج پژوهش حاضر است. این نتیجه بدان معناست که هرچه فاصله از گسل کمتر باشد، تعداد چشمه بیشتر است. دلیل این امر، امکان ورود آب زیرزمینی به سطح در مناطق نزدیک به گسل است. در ساختار زمین شناسی ناحیه‌ای مانند گسل و دایک‌ها مناطق شکسته خطی هستند و می‌توانند حرکت آب بین سطح و زیر سطح را کنترل کنند.

همچنین رابطه معکوس بین فاصله از آبراهه، تراکم گسل و طول شیب با وجود پتانسیل آب زیرزمینی مشاهده می‌شود. در همین

راستا زیاد بودن پتانسیل آب زیرزمینی الزاما ناشی از افزایش نفوذ آب به سبب گسل و تراکم زیاد آن نیست. نفوذ آب به اعماق و عدم ظهور بر سطح زمین در منطقه با تراکم زیاد گسل به سبب ساختار آن می‌تواند دلیلی بر کم بودن پتانسیل آب زیرزمینی باشد. نتایج پژوهش حاضر در خصوص ارتباط پتانسیل آب زیرزمینی با تراکم زهکشی نشان داد که بیشترین تعداد چشمه در طبقه $0/90-0/52$ کیلومتر بر کیلومتر مربع از تراکم زهکشی قرار دارد. تراکم زهکشی به شیب، ماهیت و رفتار سنگ‌های بستر و الگوی شکستگی منطقه ای و محلی بستگی دارد. این عامل سنگ شناسی و ساختار یک منطقه معین را منعکس می‌کنند و می‌توانند برای ارزیابی منابع آب زیرزمینی ارزش زیادی داشته باشند (Godebo, 2005). نتایج به دست آمده با مطالعه Zabih et al., (2015) که به تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در دشت بجنورد پرداختند همخوانی دارد. در این روش هرچه ضریب نسبت فراوانی به دست آمده برای هریک از طبقات یک عامل بیشتر از یک باشد، نشانه تاثیر بیشتر آن طبقه در وقوع آب زیرزمینی و پتانسیل ایجاد چشمه بوده است (Shirzadi et al., 2012).

نتایج اجرای مدل بر اساس سه سناریوی تعریف شده

در این پژوهش برای بررسی عدم قطعیت‌های موجود در مدلسازی، مدل براساس سه سناریوی مختلف تعداد نقاط حضور ($100, 500, 800$) چشمه، وضوح رستری 2 ($100, 50, 30$) و اندازه نمونه 3 ($90/10, 80/20, 70/30, 50/50$) اجرا شد. جدول ۴ نتایج مربوط به دقت مدل را برای تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی براساس سناریوهای اعمال شده نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، دقت مدل برای سناریوهای تعریف شده دارای درجه عالی، بسیار خوب و خوب (Devkota et al., 2013; Yessilnacar, 2005)، که این نتایج بیانگر توانایی بالای مدل مکسنت در پیش‌بینی و ارزیابی پتانسیل آب زیر زمینی می‌باشد (Rahmati et al., 2000; Pearce and Ferrier 2000). (2016).

جدول ۴- نتایج مربوط به دقت مدل مکسنت براساس سناریوهای اعمال شده برای تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی

اندازه ذرات				تعداد نقاط حضور	وضوح رستری				
اعتبارسنجی		آموزش							
90/10	80/20	70/30	50/50	90/10	80/20	70/30	50/50	100	30
0/927	0/880	0/898	0/862	0/953	0/928	0/920	0/927		
0/844	0/827	0/835	0/822	0/879	0/882	0/883	0/891		
0/846	0/836	0/829	0/827	0/865	0/871	0/878	0/890	800	50
0/789	0/879	0/850	0/794	0/951	0/929	0/938	0/940		
0/795	0/806	0/812	0/804	0/879	0/881	0/885	0/903		
0/821	0/829	0/820	0/842	0/864	0/871	0/875	0/878	800	100
0/811	0/857	0/844	0/851	0/930	0/926	0/920	0/918		
0/826	0/790	0/805	0/813	0/871	0/879	0/882	0/889		
0/822	0/823	0/822	0/818	0/863	0/866	0/870	0/884	800	

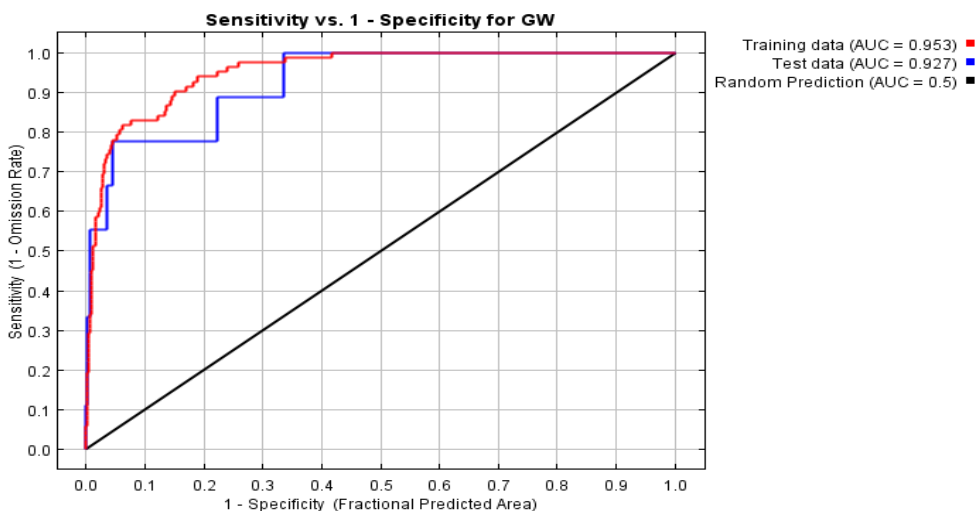
نتایج نشان می‌دهد که مجموعه داده‌های اعتبارسنجی نسبت به مجموعه داده‌های آموزشی در تغییر وضوح پیکسل، تعداد نقاط حضور و اندازه نمونه حساس ترند. در تمامی ترکیب‌ها مدل وقتی با تعداد نقاط 100 چشمه اجرا شد دقت بالاتری داشت و با افزایش تعداد نقاط حضور دقت مدل کاهش پیدا کرد. شاید دلیل این امر این باشد که 100 نقطه نمونه از مکان‌های درست تری ثبت شده و افزایش این تعداد باعث سردرگمی و کاهش کارایی مدل شده است. این نشان دهنده توانایی بالای مدل مکسنت است که با تعداد نقاط ثبت شده محدودتر می‌تواند کارایی بالایی را ارائه دهد. اساساً، در ترکیبات $50/50$ و $70/30$ و $80/20$ درصد، وضوح 50 متر در مرحله‌ی آموزش و وضوح 30 متر در اعتبارسنجی دارای بالاترین دقت پیش‌بینی بودند. براساس نتایج بدست آمده ترکیب $(RR=30, NOF=100, SS=)$ با داشتن بالاترین مقدار AUC ($0,953$ در مرحله آموزش و $0,927$ در مرحله اعتبارسنجی) به عنوان بهترین ترکیب سناریو برای تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی انتخاب شد (شکل ۴). سپس برای اطمینان از کارایی و دقت، مدل مکسنت با تکرار 10 اجرا شد، شکل ۵ نقشه‌ی پتانسیل آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را براساس ترکیب سناریوی برتر که حاصل میانگین 10 بار اجرای مدل است،

1 number of presence points(NOF)

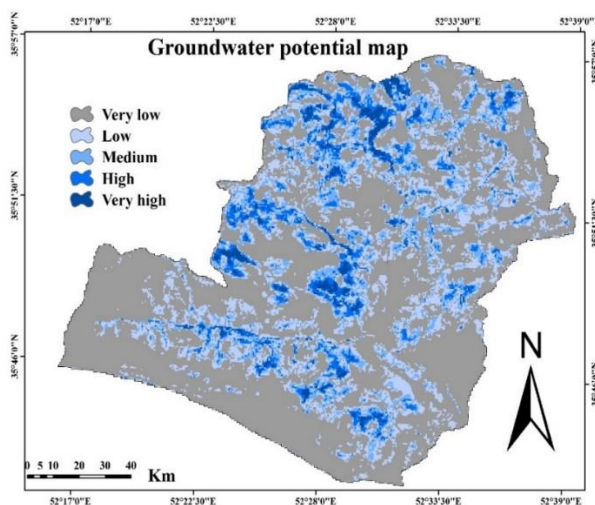
2 raster resolution

3 Sample size

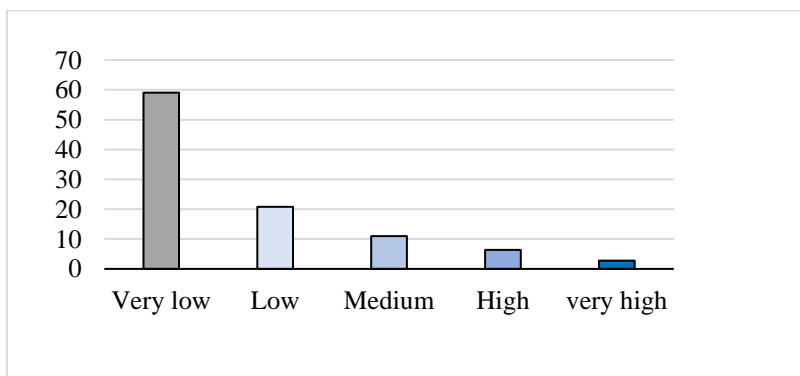
نشان می‌دهد. که با استفاده از فاصله شکستن طبیعی در پنج کلاس بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد طبقه بندی شد (Pourghasemi and Rossi 2017؛ Golkarian and Rahmati, 2018). توزیع نسبی کلاس‌های احتمال وقوع پتانسیل آب زیرزمینی در شکل ۶ ارائه شده است. از میانگین حساسیت‌پذیری این ۱۰ تکرار به ترتیب حدود ۹/۱۴ درصد در کلاس پتانسیل بالا و کلاس پتانسیل خیلی بالا قرار گرفت.



شکل ۴- ارزیابی دقت مدل در مرحله آموزش و اعتبارسنجی برای سناریوی برتر



شکل ۵- نقشه پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی برای سناریوی ((RR=30, NOF=100, SS= 90/10%))

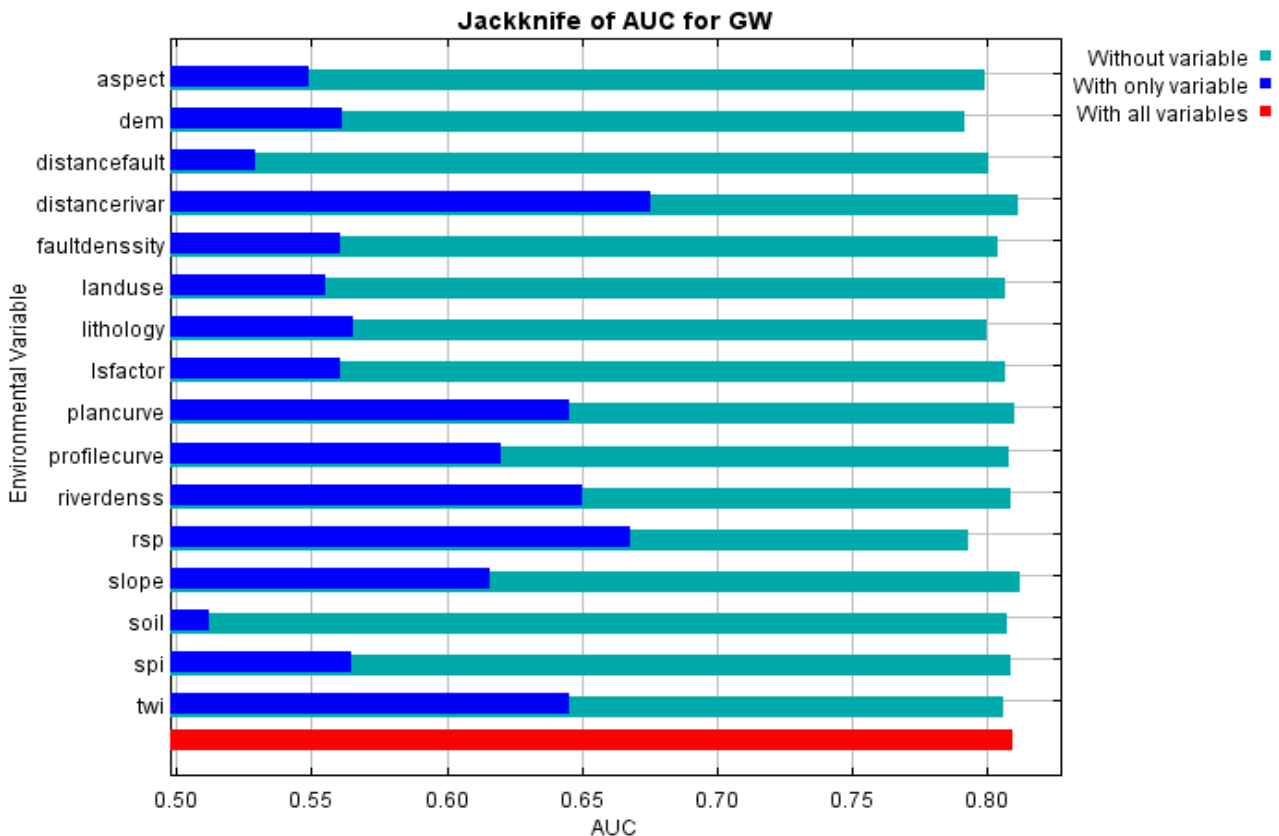


شکل ۶- توزیع نسبی کلاس‌های احتمال وقوع پتانسیل آب زیرزمینی برای سناریوی ((RR=30, NOF=100, SS= 90/10%))

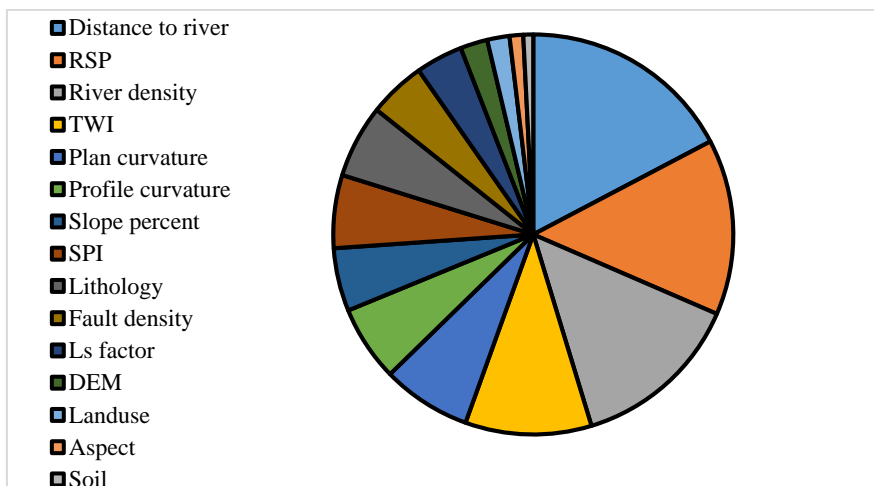
میزان مشارکت عوامل مؤثر (لایه‌های زمین - محیطی پیش‌بینی کننده) در مدل مکسنت

بر اساس آنچه که در روش تحقیق گفته شد، تجزیه و تحلیل‌های آزمون Jackknife برای تعیین میزان مشارکت متغیرهای ورودی در پیش‌بینی مکانی پتانسیل آب زیرزمینی استفاده شد (شکل ۸). نمودار به دست آمده از آزمون jackknife شامل سه نوع اطلاعات است: (۱) نوارهای آبی رنگ مربوط است به زمانی که هر عامل به تنهایی وارد مدل می‌شود (۲) نوارهای سبز رنگ نشان دهنده ی دقت مدل است با حذف هر عامل و وجود عوامل باقیمانده و (۳) نوار قرمز مربوط است به هنگامی که همه عوامل در مدل سازی نقش دارند. نتایج این منحنی با سهم نسبی عوامل (شکل ۹) هماهنگ است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، عوامل فاصله از آبراهه، موقعیت شیب نسبی، تراکم زهکشی و شاخص رطوبت توپوگرافی به ترتیب با مقادیر $17/3$ ، $14/2$ ، $13/8$ و $10/2$ درصد به‌عنوان مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر پیش‌بینی مکانی وقوع چشمه در منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند. همچنین متغیرهای انحنا، شیب، شاخص توان آبراهه و سنگ شناسی دارای اهمیت متوسط بودند. حساسیت مدل به فاکتورهای بافت خاک، جهت شیب و کاربری اراضی زیاد نیست و کمبود این دو عامل توسط عوامل دیگر قابل جبران است. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که دسترسی محدود اطلاعات، غلبه اراضی دشتی و تنوع کم کاربری زمین و بافت خاک احتمالاً تأثیر کم این عوامل در تولید مدل را تحت تأثیر قرار داده است. فاکتورها زمانی می‌توانند از روند مدل سازی حذف شوند که هیچ تأثیری در صحت مدل نداشته باشند (Kornejady et al. 2017).

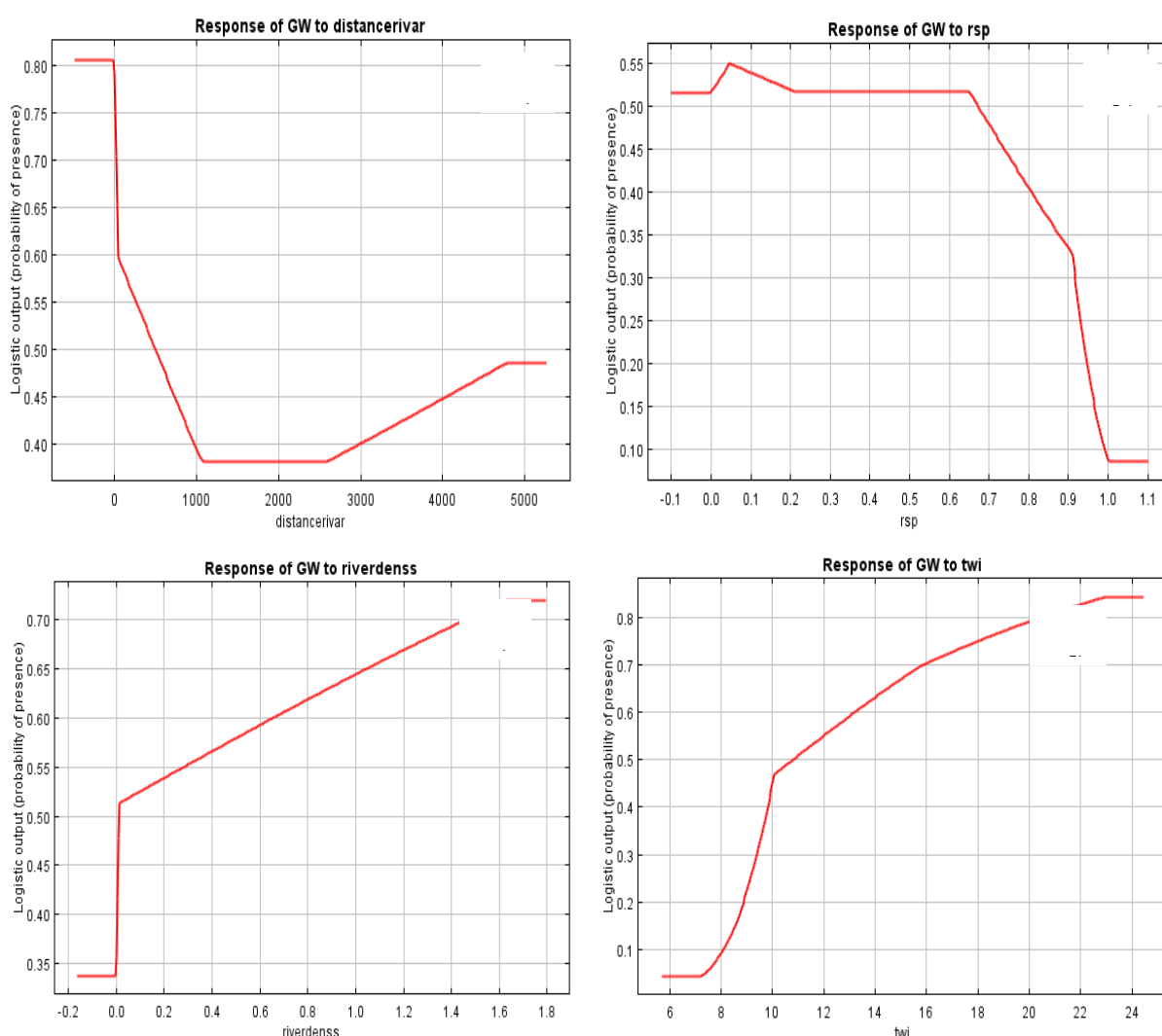
نتایج این مطالعه نشان داد که بسیاری از عوامل که در مناطق مطالعاتی دیگر از عوامل مهم برای تعیین پتانسیل آب زیرزمینی بوده‌اند، در این منطقه نقش خود را در پتانسیل آب زیرزمینی از دست داده‌اند و تعیین مناطق بهینه برای پتانسیل آب زیرزمینی به چندین عامل اساسی محدود می‌شود، شاید دلیل این امر متفاوت بودن شرایط اقلیمی، خاکشناسی، پوشش گیاهی و غیره در مناطق مختلف باشد. به عنوان مثال در مطالعه (Golkarian and Rahmati 2018) فاکتورهای SPI و TWI بیشترین تأثیر و سنگ شناسی شیب و فاصله رودخانه تأثیر متوسطی را در پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه گناباد داشته است. شکل ۹ منحنی‌های پاسخ مربوط به چهار عامل مهم پیش‌بینی کننده را نشان می‌دهد.



شکل ۷- نتایج آزمون جک نایف بر اساس AUC برای مدل مکسنت



شکل ۸ - سهم نسبی متغیرهای زمین محیطی برای مدل‌سازی پتانسیل آب زیرزمینی براساس مدل مکسنت



شکل ۹ - منحنی‌های پاسخ مهم‌ترین عوامل پیش‌بینی کننده نسبت به پتانسیل آب زیرزمینی: (a) فاصله از رودخانه؛ (b) موقعیت شیب نسبی؛ (c) تراکم زهکشی؛ (d) شاخص رطوبت توپوگرافی

افزایش فاصله از رودخانه‌ها، به ویژه رودخانه‌های دارای جریان دائمی یا رودخانه‌هایی که جریان طولانی تری دارند، می‌تواند تأثیر منفی بر پتانسیل آب زیرزمینی داشته باشد (Deepa et al. 2016). شکل ۹ (a) نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از رودخانه پتانسیل آب

زیرزمینی کاهش می یابد. از آنجایی که توپوگرافی نقش مهمی در تغییرات مکانی شرایط هیدرولوژیکی مانند جریان آب زیرزمینی و رطوبت خاک دارد (Naghbi et al., 2016)، شاخص موقعیت شیب نسبی (RSP) که از روی مدل رقومی ارتفاعی تهیه شده است نیز یک فاکتور مؤثر بر تراکم زهکشی، رواناب سطحی، نفوذ پوشش سطحی، رطوبت خاک و فرایندهای ژئومورفولوژیکی است. شکل ۹ (b) نشان می دهد که با افزایش این شاخص مقدار GW کاهش می یابد. مطابق با شکل ۹ (c) هرچه تراکم آبراهه بیشتر باشد، مقدار نفوذپذیری سنگها کمتر و بنابراین سرعت جریان سطحی کمتر می گردد، در نتیجه باعث اشباع شدن لایه های سطح الارضی می گردد (Demir et al., 2015). بستر و حاشیه رودخانه مکان مناسبی برای نفوذ و شارژ مجدد سفره های آبخوان است و با افزایش تراکم زهکشی، وسعت این مناطق نیز افزایش می یابد (Golkarian and Rahmati, 2018). TWI اثر توپوگرافی را بر محل و اندازه منطقه اشباع شده و تولید رواناب نشان می دهد با فرض اینکه شرایط دارای حالت پایدار و خواص خاک یکنواخت است (یعنی انتقال پذیری در سراسر حوضه ثابت و برابر با واحد است) (Beven and Freer, 2001). بنابراین، به عنوان یک عامل حیاتی در این مطالعه در نظر گرفته شد. از آنجا که TWI در شیب های کم و مناطق با تجمع جریان گسترده افزایش می یابد، بیشترین TWI مربوط به مناطق دشتی است. وجود روند افزایشی در پتانسیل آب زیرزمینی با افزایش TWI شکل ۹ (d) نشان دهنده اهمیت مناطق دشتی از نظر این عامل است.

نتیجه گیری

تعیین توزیع مکانی مناطقی که پتانسیل بالایی برای دسترسی به آب های زیرزمینی دارند اطلاعاتی را برای کمک به مدیریت منابع آب زیرزمینی فراهم می کند. با توجه به هزینه بر بودن آزمایش های اکتشافی منابع آب زیرزمینی، تهیه نقشه ی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از روش های نوین با هدف حفاظت، مدیریت و بهره برداری صحیح از منابع آب امری حائز اهمیت است. با وجود مطالعات مختلف صورت گرفته با استفاده از مدل ها و متدهای نوین، عدم قطعیت های زیادی در استفاده از آنها وجود دارد. از جمله این عدم قطعیت ها شامل این است که برای پیش بینی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی مدل با چه وضوح رستری عملکرد بهتری را خواهد داشت، افزایش و یا کاهش نقاط مثبت تأثیری در افزایش دقت مدل دارد یا خیر. همچنین علائق استفاده از نسبت ۷۰ درصد نمونه ها برای آموزش مدل و ۳۰ درصد برای ارزیابی آن در اغلب مطالعات انجام گرفته استفاده از نسبت های دیگر ممکن است برای مدل مورد بررسی نتایج بهتری را در پی داشته باشد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر سه سناریوی مختلف تعداد نقاط حضور (۱۰۰، ۵۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ چشمه)، وضوح رستری (۱۰۰، ۵۰، ۳۰) و اندازه نمونه (۹۰/۱۰، ۸۰/۲۰، ۷۰/۳۰، ۵۰/۵۰) روی نقشه ی پتانسیل آب زیرزمینی در حوزه نمود تهران است. در این مطالعه از مدل مشهور و کارآمد مکسنت به عنوان پنج مارک استفاده شده است. برای مدل سازی پتانسیل آب زیرزمینی ابتدا ۱۸ عامل مؤثر در ظهور چشمه ها شامل: سازندهای سنگ شناسی، فاصله از گسل، تراکم گسل، طبقات ارتفاعی، درصد شیب، جهت شیب، فاکتور طول شیب، نقشه های انحناء، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، فاصله از جاده، شاخص رطوبت توپوگرافی، موقعیت شیب نسبی، بافت خاک، شاخص زبری سطح، شاخص توان آبراهه و پوشش کاربری اراضی انتخاب شدند و نقشه آن ها در سامانه ArcGIS 10.5 و SAGA تهیه گردید. بعد از اعمال سناریوها براساس نتایج بدست آمده ترکیب سناریوهای وضوح رستری: ۳۰-تعداد نقاط: ۱۰۰-اندازه نمونه: ۹۰/۱۰ درصد با داشتن بالاترین مقدار AUC در هر دو مرحله آموزش اعتبارسنجی به عنوان بهترین ترکیب سناریو برای تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی انتخاب شد. سپس این نقشه در پنج طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد کلاس بندی شد. براساس ترکیب سناریوی برتر، عوامل فاصله از آبراهه، موقعیت شیب نسبی، تراکم زهکشی و شاخص رطوبت توپوگرافی به ترتیب به عنوان مهم ترین عوامل محیطی مؤثر بر پیش بینی مکانی وقوع چشمه در منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند. نتایج نشان داد که عوامل مؤثر بر تعیین پتانسیل آب زیرزمینی در مناطق مختلف به دلیل متفاوت بودن شرایط اقلیمی، خاکشناسی، پوشش گیاهی و غیره متفاوت باشد.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Arkoprovo, B., Adarsa, J., Shashi Prakash, S. (2012). Delineation of groundwater potential zones using satellite

1 number of presence points (NOF)

2 raster resolution

3 Sample size

- remote sensing and geographic information techniques: a case study from Ganjam district, Orissa, India. *Research Journal of Recent Sciences*, 9, 59–66.
- Austin, M. (2007). Species distribution models and ecological theory, a critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, 200(1), 1–19
- Ariyanto, A.C. (2015). Mapping of possible corridors for Javan Leopard (*Panthera pardus ssp. melas*) between Gunung Merapi and Gunung Merbabu National Parks, Indonesia. Doctoral dissertation, University of Twente.
- Azareh, A., Rahmati, O., Rafiei-Sardooi, E., Sankey, J.B., Lee, S., Shahabi, H., and Ahmad, B.B. (2019). Modelling gully-erosion susceptibility in a semi-arid region, Iran: Investigation of applicability of certainty factor and maximum entropy models. *Science of the Total Environment*, 655, 684–696.
- Baldwin, R.A. (2009). Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy* 11(4), 854–866
- Beven, K., and Freer, J. (2001). A dynamic TOPMODEL. *Hydrological Process*, 15(10), 1993–2011.
- Böhner, J., and Selige, T. (2006). Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation. *Gottinger Geographische Abhandlungen*, 115, 13–28.
- Bhattacharya, A.K. (2010). Artificial ground water recharge with a special reference to India. *International Journal of Research and Reviews in Applied* 4, 214–221.
- Bera, K., and Bandyopadhyay, J. (2012). Ground water potential mapping in Dulung watershed using remote sensing and GIS techniques, West Bengal, India. *International Journal of Scientific and Research Publication*, 2(12), 1–7.
- Conforti, M., Pascale, S., Robustelli, G., and Sdao, F. (2014). Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turblo River catchment (northern Calabria, Italy). *Catena*, 113, 236–250.
- Dehnavi, A., Aghdam, I.N., Pradhan, B., and Varzandeh, M.H.M. (2015). A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran. *Catena*, 135, 122–148.
- Demir, G., Aytekin, M., and Akgun, A. (2015). Landslide susceptibility mapping by frequency ratio and logistic regression methods: an example from Niksar–Resadiye (Tokat, Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 8(3), 1801–1812.
- Daoud, J.I. (2017). Multicollinearity and regression analysis. *J. Phy, Conference Series*. 949(1), 012009. IOP Publishing.
- Davoodi Moghaddam, D., Rezaei, M., Pourghasemi, H.R., Pourtaghie, Z.S., and Pradhan, B. (2013). Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan watershed, Iran. *Arabian Journal of Geoscience*, 8(2), 913–929.
- Devkota, K.C., Regmi, A.D., Pourghasemi, H.R., Yoshida, K., Pradhan, B., and Ryu, I.C. (2013). Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling-Narayanghat road section in Nepal Himalaya. *Natural Hazards*, 65(1), 135–165.
- Deepa, S., Venkateswaran, S., Ayyandurai, R. (2016). Groundwater recharge potential zones mapping in upper Manimuktha Sub basin Vellar river Tamil Nadu India using GIS and remote sensing techniques. *Model Earth Syst Environ* 2(137). <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0192>.
- Feliciísimo, A., Cuartero, A., Remondo, J., and Quirós, E. (2013). Mapping landslide susceptibility with logistic regression, multiple adaptive regression splines, classification and regression trees, and maximum entropy methods: a comparative study. *Landslides*, 10, 175–189
- Jungerius, P.D., Matundura, J., and Van de Ancker, J.A.M. (2002). Road construction and gully erosion in West Pokot, Kenya. *Earth Surf Process Landf*, 27, 1237–1247.
- Jaiswal RK, Mukherjee S, Krishnamurthy J, Saxena R (2003) Role of remote sensing and GIS techniques for generation of groundwater prospect zones towards rural development—an approach. *Int J Remote Sens* 24(5):993–1008.
- Israil M, Al-hadithi M, Singhal DC, Kumar B, Rao MS, Verma K (2006) Groundwater resources evaluation in the Piedmont zone of Himalaya, India, using isotope and GIS technique. *J Spat Hydrol* 6(1):34–38
- Greene, W.H. (2000). *Econometric Analysis* (4th Edition), Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Godebo TR (2005) Application of remote sensing and GIS for geological investigation and groundwater potential zone identification, Southeastern Ethiopian Plateau, Bale Mountains and the surrounding areas. ADDIS ABABA UNIVERSITY, Dissertation
- Gomez, H., and Kavzoglu, T. (2005). Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology*, 78(1), 11–27.



- Gutiérrez, A.G., Schnabel, S., Contador, J.F.L. (2009). Using and comparing two nonparametric methods (CART and MARS) to model the potential distribution of gullies. *Ecological Modelling*, 220, 3630–3637.
- Golkarian, A., and Rahmati, O. (2018). Use of a maximum entropy model to identify the key factors that influence groundwater availability on the Gonabad Plain, Iran. *Environmental earth sciences*, 77(10), 1-20.
- Ghosh, S. and Carranza, E.J.M. (2010). Spatial analysis of mutual fault/fracture and slope controls on rock sliding in Darjeeling Himalaya, India. *Geomorphology* 122, 1- 24.
- Gallardo-Cruz, J.A., Pérez-García, E.A., and Meave, J.A. (2009). β -Diversity and vegetation structure as influenced by slope aspect and altitude in a seasonally dry tropical landscape. *Landsc Ecol*, 24, 473–482.
- Geroy, I.J., Gribb, M.M., Marshall, H.P., Chandler, D.G., Benner, S.G., and McNamara, J.P. (2011). Aspect influences on soil water retention and storage. *Hydrol Processes*, 25, 3836–3842.
- Javidan, N., Kaviani, A., Pourghasemi, H.R., Conoscenti, C., and Jafarian, Z. (2020). Gully Erosion Susceptibility Mapping Using Multivariate Adaptive Regression Splines—Replications and Sample Size Scenarios. *Water*, 11(11), 231-239.
- Jaime, R., Alcántara, J.M., Bastida, J.M., Rey, P.J. (2015). Complex patterns of environmental niche evolution in Iberian columbines (genus *Aquilegia*, Ranunculaceae). *Journal of Plant Ecology*, 8(5), 457–467
- Kornejady, A., Ownegh, M., and Bahremand, A. (2017). Landslide susceptibility assessment using maximum entropy model with two different data sampling methods. *Catena*, 152, 144-162.
- Lee, S., and Pradhan, B. (2007). Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4, 33-41.
- Lee, S., Song, K.Y., and Kim, Y. (2012). Regional groundwater productivity potential mapping using a geographic information system (GIS) based artificial neural network model. *Hydrogeol J* 20, 1511–1527.
- Moghaddam, D.D., Rezaei, M., Pourghasemi, H.R., Pourtaghie, Z.S., and Pradhan, B. (2015). Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan watershed, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(2), 913-929.
- Manap, M.A., Nampak, H., Pradhan, B., Lee, S., Soleiman Wan Nor, A., and Ramli, M. F. (2012), Application of probabilistic-based frequency ratio model in groundwater potential mapping using remote sensing data and GIS, *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 711-724.
- Mancini, F., Ceppi, C., and Ritrovato, G. (2010). GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area, Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(9): 1851-1859.
- Moore, I.D., Grayson, R.B., and Ladson, A.R. (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrology Process*, 5, 3-30.
- Meinhardt, M., Fink, M., and Tunschel, H. (2015). Landslide susceptibility analysis in central Vietnam based on an incomplete landslide inventory: comparison of a new method to calculate weighting factors by means of bivariate statistics. *Geomorphology*, 234, 80–97.
- Madrucci V, Taioli F, Cesar de Araujo C (2008) Groundwater favorability map using GIS multicriteria data analysis on crystalline terrain, Sao Paulo State, Brazil. *J Hydrol* 357:153–173
- Naghbi, S. A., Pourghasemi, H. R., Pourtaghi, Z. S., and Rezaei, A. (2015). Groundwater qanat potential mapping using frequency ratio and Shannon's entropy models in the Moghan watershed, Iran. *Earth Science Informatics*, 8(1), 171-186.
- Nguyen, P. T., Ha, D.H., Avand, M., Jaafari, A., Nguyen, H.D., Al-Ansari, N., and Ho, L.S. (2020), Soft Computing Ensemble Models Based on Logistic Regression for Groundwater Potential Mapping. *Applied Sciences*, 10(7), 2469-2478.
- Naghbi, S.A., Pourghasemi, H.R., Dixon, B. (2016) Groundwater spring potential using boosted regression tree, classification and regression tree, and random forest machine learning models in Iran. *Environ Monit Assess.* doi:10.1007/s10661-015-5049-6
- Oh, H.J., Kim, Y.S., Choi, J.K., Park, E., and Lee, S. (2011). GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *Journal of Hydrology*, 399(3-4), 158-172.
- Ozdemir, A. (2011). GIS-based groundwater spring potential mapping in the Sultan Mountains (Konya, Turkey) using frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods and their comparison. *Journal of Hydrology* 411, 290-308.
- Pearce, J., Ferrier, S. (2000). Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. *Ecol Model*, 133(3), 225–245
- Park, N.W. (2015). Using maximum entropy modeling for landslide susceptibility mapping with multiple geoenvironmental data sets. *Environmental Earth Sciences*, 73(3), 937-949.
- Pourtaghi, Z.S., and Pourghasemi, H.R. (2014). GIS-based groundwater spring potential assessment and

- mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran. *Hydrogeology Journal*, 22(3), 643-662.
- Pradhan, B. (2009). Groundwater potential zonation for basaltic watersheds using satellite remote sensing data and GIS techniques, *Central European Journal of Geosciences*, 1(1), 120–129.
- Pourghasemi, H.R., and Rossi, M. (2017). Landslide susceptibility modeling in a landslide prone area in Mazandarn Province, north of Iran: a comparison between GLM, GAM, MARS, and M-AHP methods. *Theor Appl Climatol* 130(1–2), 609–633.
- Pourghasemi, H.R., Kornejady, A., Kerle, N., and Shabani, F. (2020). Investigating the effects of different landslide positioning techniques, landslide partitioning approaches, and presence-absence balances on landslide susceptibility mapping. *Catena*, 187, 104364-76.
- Riley, S.J., Degioria, S.D., and Elliot, R. (1999). Index that quantifies topographic heterogeneity. *intermountain Journal of sciences*, 5(1-4), 23-27.
- Rahmati, O., Pourghasemi, H.R., and Melesse, A.M. (2016). Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: a case study at Mehran Region, Iran. *Catena*, 137, 360-372.
- Rahmati, O., Tahmasebipour, N., Haghizadeh, A., Pourghasemi, H.R., and Feizizadeh, B. (2017). Evaluating the influence of geo-environmental factors on gully erosion in a semi-arid region of Iran: An integrated framework. *Science of The Total Environment*, 579, 913-927.
- seyed ali, S., rahimi, M., Dastourani, J., and Khosroshahi, M. (2016). Trend Analysis of Hydroclimatological Parameters and Detection of Manageral Changes in Water Resources Conditions of Hablerood Watershed, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 23(3), 555-566.
- Shahin, K.A., and Hassan, N. (2000). Sources of shared variability among body shape characters at marketing age in New Zealand White and Egyptian rabbit breeds. *Annales de Zootechnie*, 49, 435- 445.
- Siahkamari, S., Haghizadeh, A., Zeinivand, H., Tahmasebipour, N., and Rahmati, O. (2018). Spatial prediction of flood-susceptible areas using frequency ratio and maximum entropy models. *Geocarto international*, 33(9), 927-941.
- Sidel, R.C., and Ochiai, H. (2006). *Landslides: Processes, Prediction, and Land use*, Water Resource Monograph: 18, AGU books, ISSN: 0170-9600.
- Shirzadi, A., Saro, L., Hyun-Joo, O.h., and Chapi, K. (2012). A GIS-based logistic regression model in rock fall susceptibility mapping along a mountainous road: Salavat Abad case study, Kurdistan, Iran. *Natural Hazard*. 64, 1639-1656.
- Shirzadi, A., Soliamani, K., Habibnejhad, M., Kavian, A., Chapi, K., Shahabi, H., ... and Tien Bui, D. (2018). Novel GIS based machine learning algorithms for shallow landslide susceptibility mapping. *Sensors*, 18(11), 3777.
- Shary, P.A., Sharaya, L.S., and Mitusov, A.V. (2002). Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma*, 107 (1), 1–32.
- Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379–423, 623–656 [Mathematical Reviews. (MathSciNet), MR10, 133e]
- Thuiller W, Richardson DM, Pyšek P, Midgley GF, Hughes GO, Rouget M (2005) Niche-based modeling as a tool for predicting the risk of alien plant invasions at a global scale. *Glob Chang Biol* 11(12):2234–2250
- Tehrany M.S., Pradhan B., Mansor S. and Ahmad N. (2015). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena*, 125, 91-101.
- Vandekerckhove, L., Poesen, J., and Govers, G. (2003). Medium-term gully headcut retreat rates in Southeast Spain determined from aerial photographs and ground measurements. *Catena*, 50, 329-352.
- Vorpahl, P., Elsenbeer, H., Märker, M., and Schröder, B. (2012). How can statistical models help to determine driving factors of landslides? *Ecological Modelling*, 239, 27-39.
- Williams RJ (2010) Simple MaxEnt models explain food web degree distributions. *Theor Ecol* 3(1), 45–52.
- Walter, S.D. (2002). Properties of the summary receiver operating characteristic (SROC) curve for diagnostic test data. *Stat Med*. 21, 1237–1256.
- Xu, C., Dai, F., Xu, X., and Lee, Y.H. (2012). GIS-based support vector mechine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the jianjiand River watershed, China. *Geomorphology*, 145, 70-80.
- Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72, 1–12.
- Yessilnacar, E.K. (2005). The application of computational intelligence of landslide susceptibility mapping in Turkey. Ph. D Thesis Department of Geomatics the University of Melbourne. 423 pages.



Zabihi, M., Pourghasemi, H.R., Pourtaghi, Z. S., and Behzadfar, M. (2016). GIS-based multivariate adaptive regression spline and random forest models for groundwater potential mapping in Iran. *Environmental Earth Sciences*, 75(8), 665-674.

Investigation the effect of different number of presence points, raster resolution and sample size scenarios on the groundwater potential map prediction using data mining model in Namroud catchment, Tehran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Groundwater is one of the most important sources of fresh water for humans. With the significant increase in agricultural, industrial and domestic activities in recent years, the need for quality water to meet growing needs has increased. In order to meet this growing demand, groundwater has a higher priority than surface water due to its low pollution potential and wide and balanced distribution. Groundwater is not an unlimited resource, so the planning of its consumption should be based on understanding the behavior of groundwater systems by ensuring its sustainable use. As the demand for fresh groundwater in the world is increasing, the mapping of potential groundwater source areas has become an important tool for the successful implementation of groundwater conservation and management programs.

Materials and Methods

In the present study, the potential map of groundwater springs was prepared using the famous and efficient Maxent model as a benchmark in Namroud catchment, Tehran province.

Results and discussion

In this study, the effect of three different scenarios on the number of presence points (100,500,800 springs), raster resolution (100,50,30) and sample size (10/90, 20/80, 30/70, 50/50) on the predicted map was evaluated. First, 18 factors affecting the emergence of springs including lithological formations, the distance from the fault, fault density, elevation classes, slope percentage, slope direction, slope length factor, curvature maps, the distance from the waterway, waterway density, the distance from the road, topographic moisture index, relative slope position, flow power index, soil texture, surface roughness index and land use cover were selected and their maps were prepared in the ArcGIS10.5 and SAGA systems. After the correlation test and classification of the effective layers, the percentage and frequency of groundwater potential in each class were obtained using the frequency ratio method, which calculates the exact weight of each class. The relative operating characteristic curve (ROC) was used to evaluate the performance of these models. The results showed that the combination of raster resolution scenarios: 30-number of points: 100-sample size: 90/20 with the highest AUC (0.953 in training phase and 0.927 in validation phase) has goodness-of-fit and prediction accuracy compared to the combinations of other scenarios. Then, this map is classified into five categories: very low, low, medium, high and very high. Based on the combination of the best scenario, the factors of distance from the stream, relative slope position, drainage density and topographic humidity index are respectively identified as the most important environmental factors affecting the spatial prediction of spring occurrence in the studied area. The results indicate that the factors affecting the determination of groundwater potential in different regions are different due to different climatic conditions, soil science, vegetation, etc.

Conclusion

In addition, about 9.14% of the study area had high and very high potential for groundwater. Based on the combination of the best scenario, the factors of distance from the waterway, relative slope position, drainage density and topographic moisture index with values of 17.3, 14.2, 13.8 and 10.2%, respectively, are the main factors of spatial control in the study area influencing the spring occurrence.

Keywords: Groundwater Potential, Spring, Frequency Ratio, Maxent Model, Relative Operating Characteristic Curve.